

ulp

U.E.R. DES SCIENCES DE LA VIE ET DE LA TERRE

INSTITUT DE GÉOLOGIE

STRASBOURG

## THÈSE

présentée à

L'UNIVERSITÉ LOUIS PASTEUR

pour obtenir le titre de

DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ LOUIS PASTEUR DE STRASBOURG

MENTION : GÉOLOGIE - PÉDOLOGIE

par

**Jean COLLINET\***

# **COMPORTEMENTS HYDRODYNAMIQUES ET ÉROSIFS DE SOLS DE L'AFRIQUE DE L'OUEST ÉVOLUTION DES MATÉRIAUX ET DES ORGANISATIONS SOUS SIMULATION DE PLUIES**

Soutenue publiquement le 27 mai 1988 devant la Commission d'examen :

MM. J. LUCAS, Président

P. DUBREUIL

G. PÉDRO

J.F. RICHARD

Y. TARDY

## AVANT-PROPOS

Ce mémoire est l'aboutissement de six années de recherches s'inscrivant dans le vaste programme couvert par la dynamique actuelle des sols mais où ma contribution a essentiellement porté sur la circulation superficielle des eaux pluviales ainsi que sur la mobilisation et le transfert des éléments solides et pseudo-solubles.

Comme pour beaucoup de pédologues de l'O.R.S.T.O.M., la finalité de mes premiers travaux n'était nullement orientée vers une synthèse à valoriser ultérieurement sous forme de thèse ; ces circonstances font, que si j'ai pu me réjouir de ma liberté d'action sur le terrain, il m'est apparu plus tard, pendant les premières phases de rédaction de ce mémoire, des distorsions dans la nature et dans le volume des informations à traiter et j'ai dû en abandonner un certain nombre pour pouvoir homogénéiser mon sujet.

Les prémices de ce travail correspondent à un changement radical dans mes activités scientifiques puisque j'ai commencé ma carrière dans la cartographie d'inventaire pédologique au Gabon, intitulé noble que j'aurais pu remplacer à l'époque plus prosaïquement par "les avatars d'un pédologue cartographe en forêt équatoriale" tant me paraissaient "spéciales" les conditions de prospection dans un "fouillis végétal humide et malodorant" occultant toute vision globale des paysages.

Peu à peu, j'ai appris à dégager l'essentiel du superflu et découvert l'organisation des espaces et des sols ; c'est aussi dans ce milieu perhumide que j'ai vu "fonctionner" des sols en pleine saison des pluies, expérience me permettant plus tard de jalonner et relativiser d'autres expériences et observations en des domaines plus septentrionaux.

J'ai été affecté en Côte d'Ivoire à une époque où se poursuivaient les exploitations de nombreuses parcelles de ruissellement, d'érosion et de drainage oblique, et où se terminait la construction d'un grand simulateur de pluie. Il m'était alors confié la responsabilité d'un programme de recherches elliptiquement intitulé "programme de simulation de pluies". Les performances de l'appareil, révélées dès la première mission, ont rapidement permis de dépasser les premières prétentions concernant la genèse des ruissellements en conciliant des protocoles "hydrologiques" et "pédologiques" et en étendant son exploitation à l'étude des processus d'érosion. Ce sont donc des réorientations protocolaires qui ont permis de donner corps à toute une suite d'opérations de recherches menées selon le vaste transect climatique de l'ouest africain, sur toute une série de sols représentatifs de différents domaines pédologiques, et d'aboutir à une connaissance des comportements globaux puis des mécanismes plus intimes des ruissellements et des érosions.

Après cinq années de mise en sommeil de mon programme, car j'avais alors d'autres responsabilités, j'ai obtenu une affectation métropolitaine me permettant une nouvelle immersion scientifique dans mes dossiers partiellement exploités.

C'est avec une profonde gratitude que je tiens d'abord à remercier Monsieur le Professeur Jacques LUCAS, Directeur de l'Institut de Géologie de Strasbourg, qui a accepté de présider mon Jury, m'a accueilli sur son Institut où j'ai bénéficié de toutes les prestations matérielles souhaitables et a consacré beaucoup de son temps à la lecture et à la correction de ce mémoire.

Ma reconnaissance va ensuite aux personnes qui ont bien voulu accepter de faire partie du Jury : MM. P. DUBREUIL, G. PEDRO, J.F. RICHARD, Y. TARDY, tous très attentifs à l'état d'avancement de mes travaux.

Comme cela apparaîtra progressivement à la lecture de ce mémoire, son aboutissement est, pour partie, le résultat de nombreuses collaborations techniques et scientifiques le plus souvent multidisciplinaires ; aussi ai-je beaucoup de plaisir à remercier mes compagnons de tournées et collègues de laboratoire qui m'ont aidé, conseillé, critiqué.

Je suis reconnaissant à E. ROOSE de m'avoir accueilli dans son laboratoire de "Pédologie expérimentale", à Adiopodoumé. Je lui dois mes premiers enseignements sur la dynamique actuelle de terrain et ai bénéficié de la réorientation vers la simulation de pluie ainsi que de la construction de l'appareil pour lequel il s'était "battu" pendant de nombreuses années.

Les missions hors de Côte d'Ivoire n'auraient pas pu se dérouler sans les interventions de R. FAUCK auprès des financiers de la Délégation

Générale à la Recherche Scientifique et Technique (D.G.R.S.T.) permettant de compléter le matériel et de fonctionner lors des expéditions lointaines.

Ma reconnaissance va aussi à J. ASSELINE, homme-orchestre du simulateur de pluies aussi compétent dans les innombrables réglages et réparations que dans la mise en oeuvre des protocoles. Comment oublier sa silhouette longiligne se profilant au milieu des cables et bras du simulateur sur un coucher de soleil sahélien ! Comment oublier aussi son étonnant appétit et les soins intéressés dont il entourait son poulailler de brousse !

J'ai partagé mes enthousiasmes et déceptions avec C. VALENTIN, truculent compagnon de tournées, devenu depuis l'homme des M.O.P.S. ! (micro-organisations pelliculaires superficielles) et dont la thèse (1981) a fait progresser la compréhension des phénomènes d'infiltration en zone sèche avant que cet auteur ne s'oriente sur les zones semi-humides.

Notre encombrante équipe a toujours été chaleureusement - au propre et au figuré - accueillie par nos collègues et amis hydrologues sur leurs terrains ou dans les Centres O.R.S.T.O.M. dont ils avaient souvent la responsabilité. Je remercie ainsi J. CLAUDE ainsi que B. POUYAUD, qui nous confia ses premières sondes à chocs thermiques, M. HOEPFFNER alors en poste au Niger, P. CHEVALLIER sur la mare d'OURSİ.

Je ne puis non plus oublier A. LAFFORGUE, compagnon des premières tournées et à qui je dois beaucoup pour les procédures de dépouillement qu'en tant que pédologue je maîtrisais mal. J'associe également A. CASENAVE, homme du mini-simulateur avec qui nous avons partagé de fructueux échanges de vues, et M. SICOT, agronome, qui se réveillait très tôt pour suivre les dynamiques de ressuyages sur OURSİ.

Je suis également redevable du concours apporté par MM. G. DUBOIS, R. DUMAS, P. LEDUC dans le déroulement des manipulations de terrain.

Ma reconnaissance va également à A. BEAUDOU qui est venu me prêter main-forte dans l'identification des organisations superficielles des parcelles sur GALMI et sur TAÏ à une époque où nous étions dépassés par l'enchaînement des protocoles expérimentaux.

De nombreux collègues m'ont apporté conseils et encouragements tant en France qu'en Afrique : Y. CHATELIN, D. MARTIN, J.C. LEPRUN, C. MARIUS, F.X. HUMBELL, R. MOREAU, P. de BLIC, G. VUILLAUME, J.C. FILLERON, qu'ils soient tous chaleureusement remerciés.



Les missions de terrain n'auraient certainement pas pu se dérouler sans la disponibilité et les remarquables facilités d'adaptation de MM. SOUSSOUNA DIALLO, Marcel KOUAME, Bernard YAO et Josué SAGOU dont j'ai retrouvé en France, avec émotion, les notes manuscrites sur mes carnets de terrain poussiéreux ou délavés.

Sur l'Institut de Géologie de Strasbourg, j'ai été initié aux mystères de l'informatique par A. CLEMENT et Y. BESNUS qui ont probablement trouvé en moi un candidat certes plein de bonne volonté, mais probablement assez rétif ; je les remercie sincèrement du temps qu'ils m'ont consacré et de leur grande patience. Je remercie également P. LARQUE pour l'analyse cristallographique d'un reliquat d'échantillons qui avaient mal supporté la dessiccation.

Je voudrais enfin témoigner de la qualité de l'accueil que les "exotiques" de l'O.R.S.T.O.M. trouvent sur l'Institut de Géologie de Strasbourg, que ceux qui accorderaient à mes propos un caractère conventionnel feuilletent les mémoires de mes prédécesseurs pour s'assurer de ma sincérité.

Je remercie Mlle D. WOERTHER qui a eu la lourde tâche de la dactylographie de ce document ainsi que J. GRUNER pour le développement des clichés photographiques.

Je dédie enfin cette synthèse à Marie-Odile, qui a trouvé le temps de m'aider dans la correction et le montage des épreuves, et à ma Mère, si longtemps séparée de son pédologue de fils.

## INTRODUCTION

L'étude de l'érosion hydrique en Afrique Intertropicale a suivi, depuis les années 1950 - 1955, deux trajectoires différentes dans les méthodes et les échelles de mesures, donc dans la nature des résultats obtenus.

Une première méthode a consisté à installer un réseau de parcelles expérimentales de quelques dizaines à quelques centaines de mètres carrés de superficie fournissant des informations globales sur les quantités d'eau ruisselée et de terres érodées. Ces parcelles se caractérisent par une longueur fixée au départ et des pentes et épipédons plus ou moins constants pendant la durée des essais. Les intensités des phénomènes observés dépendent alors des conditions pluviométriques et des traitements qu'elles subissent (culturaux, couverts végétaux naturels). Elles fournissent ainsi des mesures issues d'une fourchette d'événements naturels, normaux à paroxysmaux, mais, du fait de leur dimension, l'érosion n'y excède généralement pas le stade d'une ablation en rigole (rill erosion des anglo-saxons).

La seconde méthode s'est proposé d'évaluer, à très petite échelle, les variations des érosions spécifiques de vastes régions en s'appuyant sur des corrélations établies par compilation d'informations, entre les caractéristiques pluviométriques, topographiques et les charges solides des grands bassins fluviaux. Les érosions calculées de la sorte se rapportent alors aux phénomènes essentiellement normaux, estompant toutes exacerbations locales; elles contiennent également toutes les formes d'incision linéaire des cours d'eau ainsi que les charriages de fond de lit, mais ne prennent pas en compte les éléments déplacés sur les versants sans atteindre le lit des rivières. De même, les effets des variations des couverts végétaux sont dérivés des informations climatiques générales.

Notre étude s'inscrit dans la première trajectoire et se préoccupe donc de la zone de départ constituée par un champ ou, si possible, un versant. Cependant elle a bénéficié de l'importante amélioration technique introduite par la simulation de pluie sur parcelles expérimentales permettant de dépasser le stade des bilans globaux et d'accéder aux mécanismes plus intimes de la genèse des ruissellements et des érosions. Il est en effet devenu possible, avec cette méthode, de maîtriser la multiplicité des paramètres intervenant simultanément sous les averses naturelles en contrôlant notamment les intensités, les hauteurs des pluies simulées ainsi que la durée des ressuyages des sols entre des pluies consécutives. De même, il est devenu possible de multiplier les situations expérimentales en ce qui concerne les types de sol, de couverts végétaux et de façons culturales.

La portée finale de ce travail est donc de mettre en évidence des processus spécifiques de tel ou tel domaine pédoclimatique en confrontant l'expérimentation de terrain et l'observation des effets à différentes échelles d'investigation, en identifiant les éléments du sol et de son environnement les plus efficaces dans la manifestation de tel ou tel processus.

Ce mémoire s'articule en cinq grandes parties regroupant quinze chapitres décantant progressivement l'information et dégageant simultanément la connaissance des comportements généraux puis celle des processus intimes.

La première partie est consacrée à l'identification des milieux naturels accueillant les différents sites expérimentaux :

- le chapitre I précise l'extension géographique de l'étude et l'effectif des sites,

- le chapitre II positionne les sites dans leurs cadres naturels (géologiques, géomorphologiques et climatiques) en tirant substance des nombreux travaux antérieurs et des interprétations qui en sont issues.

La seconde partie aborde l'identification pédologique des milieux expérimentaux :

- le chapitre III apporte, par domaine pédologique, une justification du choix des sites,

- le chapitre IV examine les caractéristiques intrinsèques des sols des parcelles expérimentales en insistant sur leurs volumes poreux les plus susceptibles, à priori, d'interférer sur l'hydrodynamique des profils.

La troisième partie traite des dispositifs de mesure et de leur mise en oeuvre :

- les chapitres V, VI, VII sont ainsi respectivement consacrés au matériel de simulation de pluies, aux protocoles expérimentaux retenus en fonction des conditions pluviométriques naturelles locales, à des déterminations annexes portant sur l'identification des organisations texturales et structurales de la surface des sols.

La quatrième partie présente les résultats issus d'un premier niveau d'analyse s'arrêtant aux comportements hydrodynamiques et érosifs globaux mais permettant déjà de détecter des particularités dues aux propriétés spécifiques des sols des neuf sites :

- le chapitre VIII explique les modes d'obtention de dépouillement et d'interprétation des données expérimentales brutes,

- les chapitres IX et X traitent respectivement des érosions et des ruissellements globaux sur la totalité des situations expérimentales, il s'en dégage des tendances évolutives qui orienteront les analyses de la cinquième partie,

- le chapitre XI peut être considéré comme un aparté, logique à ce stade de l'étude, concernant l'utilisation de l'équation de prédiction des pertes en terre de WISCHMEIER et SMITH,

Les faits saillants de ce premier niveau d'analyse sont résumés dans le chapitre XII ce qui permet de sélectionner les paramètres les plus efficaces conditionnant le déroulement des processus essentiels qui sont étudiés dans la cinquième partie.

La cinquième partie analyse les mécanismes intimes de la mobilisation et du transfert des éléments solides et pseudo-solubles sur la surface du sol. On considère alors conjointement ruissellement et détachabilité, selon une démarche articulant l'étude des contraintes d'origine pluviale et l'étude des organisations des surfaces les subissant et y réagissant :

- le chapitre XIII identifie les contraintes d'origine pluviométrique et départage leurs effets : dégradations dues à l'énergie des pluies et à celle du courant de ruissellement, protection offerte par l'épaisseur de la lame ruisselante, réactions des surfaces aux différentes gammes d'humectation préliminaire des sols,

• le chapitre XIV répercute ces différentes manifestations des contraintes sur les principaux sols, il s'en dégage finalement une typologie de processus permettant de proposer un petit nombre de schémas explicatifs de l'érosion où apparaît, notamment, une nette influence de la granulométrie sensu lato. et de la nature minéralogique des argiles,

• le chapitre XV développe ce qui constitue finalement le point de convergence des développements précédents : la conductivité hydraulique des surfaces et les types d'organisations qui la contrôlent. On est ainsi amené à proposer une théorie sur la formation des concentrations plasmiques subsuperficielles des sols, complétée par une semi-quantification des infiltrabilités que conditionnent leur étanchéité et leur stabilité. Ce dernier chapitre illustre plus particulièrement le caractère contributif d'un mémoire qui s'inscrit dans un continuum d'opérations de recherches encore en cours actuellement.

Le sommaire est donc le suivant :

#### **Première partie : Les milieux naturels**

##### **Chapitre I**

Localisation des sites expérimentaux.....p. 1

##### **Chapitre II**

Caractéristiques générales des milieux étudiés.....p. 7

#### **Deuxième partie : Les sols**

##### **Chapitre III**

Identification des domaines pédologiques du transect.....p. 47

##### **Chapitre IV**

Caractérisation des sols des différents milieux expérimentaux...p. 65

#### **Troisième partie : Dispositif de mesures et méthodes**

##### **Chapitre V**

Le dispositif expérimental.....p. 141

##### **Chapitre VI**

Les protocoles expérimentaux.....p. 147

##### **Chapitre VII**

Les autres déterminations de terrain.....p. 153

#### **Quatrième partie : Premier niveau d'analyse : étude expérimentale des comportements hydrodynamiques et érosifs globaux des sols**

##### **Chapitre VIII**

Les données d'observation.....p. 161

<b>Chapitre IX</b>	
Les ruissellements.....	p. 201
<b>Chapitre X</b>	
Les érosions globales.....	p. 247
<b>Chapitre XI</b>	
L'intégration des différents facteurs de l'érosion hydrique, problème du classement des érodibilités : l'équation de prédiction des pertes en terre de WISCHMEIER et SMITH.....	p. 289
<b>Chapitre XII</b>	
Conclusion partielle : les causes de l'érosion hydrique révélées par l'analyse des comportements globaux.....	p. 301
 <b>Cinquième partie : Second niveau d'analyse : des comportements aux mécanismes, les effets des contraintes climatiques, les réactions des sols</b>	
<b>Chapitre XIII</b>	
Analyse des paramètres d'évènement : les contraintes d'origine climatique.....	p. 309
<b>Chapitre XIV</b>	
Analyse des paramètres de situation : rôle des composantes de l'interface.....	p. 377
<b>Chapitre XV</b>	
Les organisations de la surface du sol : genèse, évolution, contrôle de l'infiltration.....	p. 409
 <b>Conclusion générale.....</b>	 p. 467

Les figures sont numérotées à l'intérieur de chaque partie, le premier chiffre (romain) indique le numéro de la partie, le second chiffre (arabe) la succession des figures dans ces parties,

Pour désencombrer le texte, les tableaux de données brutes et certains tableaux de données élaborées sont reportés en annexe, Il en est de même en ce qui concerne les descriptions, résultats analytiques, schémas des organisations superficielles des sols et planches photographiques,

COMPORTEMENTS HYDRODYNAMIQUES ET EROSIFS DE SOLS DE L'AFRIQUE  
DE L'OUEST - EVOLUTION DES MATERIAUX ET DES ORGANISATIONS SOUS  
SIMULATION DE PLUIES. (Jean Collinet, Pédologue ORSTOM)

Résumé

Ruissellements et érosions sont étudiés sur des sols représentatifs de l'Afrique de l'Ouest en utilisant un simulateur de pluies sur 92 parcelles expérimentales depuis le sahel jusqu'aux tropiques humides.

Dans un premier niveau d'analyse, où l'on étudie les comportements globaux de sols isohumiques, ferrugineux, ferrallitiques, il apparaît que l'accent doit être mis sur la conductivité hydraulique de la surface du sol qui départage des ruissellements élevés dans les régions sahéliennes et soudaniennes (# 70%) et plus modérés dans les régions guinéennes (# 20%). La limite entre ces deux comportements est tranchée et correspond, en fait, à une pérennité du couvert végétal intervenant surtout au niveau de son système racinaire traçant et à une activité plus durable de la faune du sol. On ne retrouve pas cette limite pour ce qui concerne les érosions qui varient dans de larges limites (facteur 10 dans le domaine isohumique et facteur 150 dans les domaines ferrugineux et ferrallitiques). Alors que les infiltrations sont surtout sous la dépendance des organisations des sols, les érosions sont plus liées aux constituants, c'est ce qui explique la forte dispersion des résultats dans les domaines ferrugineux et ferrallitiques aux sols plus ou moins gravillonnaires.

Dans un second niveau d'analyse, on se préoccupe des paramètres les plus susceptibles d'influencer ruissellements et érosions. Le "splash", lié à l'énergie des averses et la capacité érosive des ruissellements dépendent de la granulométrie, de la nature minéralogique, de l'humectation antérieure et de la pente topographique des sols. Des seuils de réaction se manifestent qui mettent en évidence le rôle intercepteur d'énergie de l'épaisseur de la lame ruisselante, donc aussi toutes causes susceptibles de modifier la microtopographie du sol.

L'efficacité de différentes techniques culturales a été testée; il apparaît que la conservation des terres et des eaux est liée aux effets opposés de l'augmentation de la surface spécifique du champ et des inclinaisons du plan d'impact des pluies.

Cette étude révélant l'importance prépondérante des organisations superficielles des sols, on s'est enfin attaché à suivre la constitution et les remaniements des concentrations plasmiques laminaires contrôlant la conductivité des sols par toute une série d'observation micromorphologiques avant, pendant et après les averses simulées.

Mots clés

érosion hydrique, infiltration, ruissellement, détachabilité, splash, organisations pelliculaires superficielles, croûtes, simulation de pluies, sols isohumiques, sols ferrugineux tropicaux, sols ferrallitiques, Burkina faso, Niger, Côte d'Ivoire.

WEST AFRICAN SOILS HYDRODYNAMICAL AND EROSION BEHAVIOURS ; EVOLUTION OF MATERIALS, OF STRUCTURAL FEATURES UNDER RAINFALL SIMULATION CONDITIONS. (Jean Collinet, Soil Scientist of ORSTOM)

Abstract

Runoff and erosion are studied on representative soils of West Africa with a rainfall simulator acting on 92 experimental plots set from the sahelian to the humid tropics.

On a first analysis scale, concerning the most general behaviours of isohumic, ferruginous, ferrallitic soils, it appears that an important attention must be given to the hydraulic conductivity of the top-soil structure which explains higher runoffs in sahelian and soudanian areas (# 70%), and the lower in guinea ones (# 20%). The limit between these two behaviours is relatively contrasted. It correspond, in fact, to a most durable vegetation cover, particularly to a crowded root layer, and also to a higher soil fauna activity. On the other hand, erosion varies in large proportions (from a factor 10 in isohumic pedological fields to a factor 150 in the ferruginous and ferrallitic ones). Even though infiltrations are depending on soil arrangement, on the other hand, érosions are depending on soil matériaux. For these reasons, more important variations are founded in humid and semi-humid areas such as: numerous iron-gravel layers which intercepts rainsplash energy, more variation in soil particles distribution, in seasonal soil fauna activity, etc..

On a second analysis scale, the most influencing parameters of runoff and erosion are studied. Rainsplash and runoff erosion capacity effects are depending on soil particles distribution, former soil moisture, clay mineralogy and topographical slope. Trends of reactions reveal the part of surface runoff depth interception and also, all reasons which can modify microtopography of soils.

Cultivation technics efficiency has been tested: it appears that soil and water conservation are controlled by two opposed factors: a) the field specific surface increase, b) the inclination angle of drops impact.

As this study shows the important part of top-soil features, a microstructural study finally permits to understand why and how thin plasmic microlayers development control, at higher or lower level the general soil conductivity, through top-soil samples collected for micromorphological research before, during and after rainfall simulation.

Key words

Rainsplash érosion, sheet erosion, infiltration, runoff, soil particles detachment, soil crusting, soil sealing, rainfall simulation, isohumic soils, ferruginous soils, ferrallitic soils, Burkina Faso, Niger, Ivory Coast.



# **PREMIERE PARTIE** **LES MILIEUX NATURELS**

## **CHAPITRE I** **LOCALISATION DES SITES EXPERIMENTAUX**

Toutes les informations et données traitées dans cette étude proviennent de missions réalisées depuis le Centre ORSTOM d'Adiopodoumé (Côte d'Ivoire) entre mars 1975 et avril 1980. Ces missions, plus ou moins lointaines, ont permis l'implantation de sites expérimentaux selon un vaste transect climatique s'étendant depuis la mare d'Oursi, située dans le nord du Burkina Faso (nouvelle appellation de la Haute-Volta depuis le 4 août 1984), jusqu'à la station écologique de Taï dans le sud-ouest de la Côte d'Ivoire, soit depuis les 14°37' jusqu'aux 05°20' de latitude nord.

La figure I.1. présente la répartition des sites expérimentaux dont on résumera, par grandes zones climatiques, quelques caractéristiques de leur environnement, les types d'essais dont ils furent l'objet et leurs identifications pédologiques selon les termes de la classification française des sols ou de ses adaptations régionales.

### ***I.1. Zone sahélienne sud (octobre 1979 à avril 1980)***

#### ***I.1.1. Région nord du Burkina Faso***

- Bassin versant de la mare d'Oursi,
- 14°37' N, 00°29' W,
- Pluviométrie moyenne interannuelle (P. moy.) : 460 mm.

Une géoséquence dominant la mare d'Oursi fut retenue pour l'installation de trois sites expérimentaux représentatifs des comportements des différents types de sols suivants :

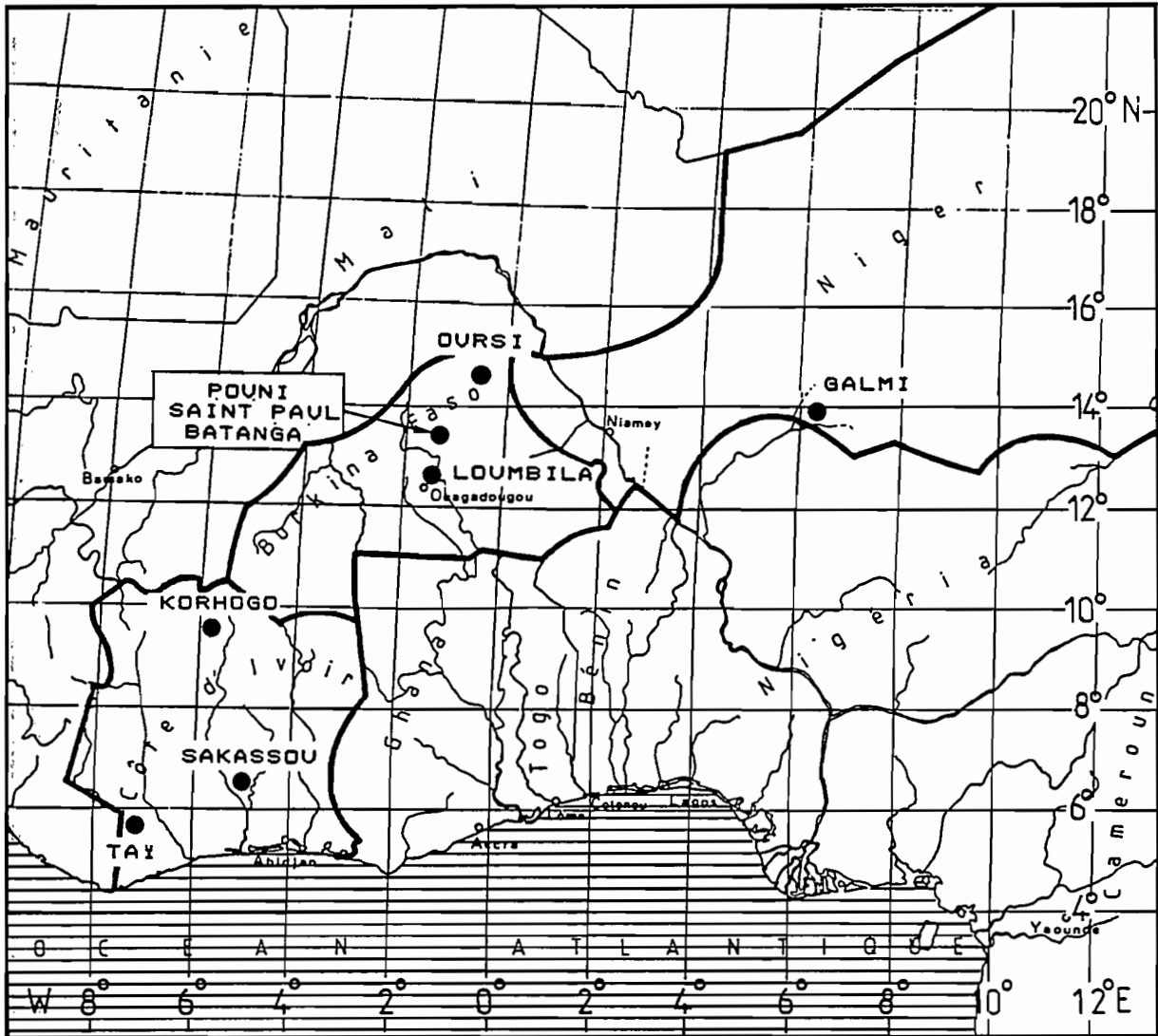


Fig. I.1.: Carte de localisation des sites expérimentaux.

- Isohumique, à complexe saturé, sous un pédoclimat à température élevée pendant la saison pluvieuse, brun-rouge sub-aride, sur matériau sableux de l'erg ancien ; son code de référence des essais "simulateur" est : OURSI 1,

- Isohumique, à complexe saturé, sous un pédoclimat à température élevée pendant la saison pluvieuse, brun sub-aride, vertique, sur altérites de roches basiques : OURSI 2,

- A sesquioxydes de fer, ferrugineux tropical, lessivé à concrétions et hydromorphe à pseudogley, sur granites migmatiques : OURSI 3.

### *I.1.2. Région sud Niger*

- Bassin versant de Galmi II,
- 13°57' N, 05°42' E,
- Pluviométrie moyenne : 500 mm.

Quatre sites expérimentaux furent repérés sur une géoséquence où furent implantés dix couples de parcelles représentatifs des sols suivants:

- Intergrade régosol, sol à sesquioxydes de fer, ferrugineux tropical, lessivé modal, sur matériau sableux de l'erg ancien et sur grès ferruginisés du Continental Terminal de L'Ader Douthi : GALMI 1,

- Isohumique, à complexe saturé, sous un pédoclimat à température élevée en saison pluvieuse, brun-rouge, sub-aride, sur marnes et calcaires Eocène : GALMI 2,

- Isohumique à complexe saturé, sous un pédoclimat à température élevée en saison pluvieuse, brun sub-aride modal, sur dépôts sableux éoliens anciens : GALMI 3,

- Isohumique, à complexe saturé, sous un pédoclimat à température élevée en saison pluvieuse, brun sub-aride, vertique, sur colluvions et alluvions argilo-sableux de vallée : GALMI 4.

### *I.2. Zone sub-sahélienne (mars à mai 1975)*

#### *I.2.1. Région centre nord du Burkina Faso*

- Bassins versants du lac de Bam,
- 13°20' N, 01°30' W
- Pluviométrie moyenne : 690 mm.

Trois sites expérimentaux furent reconnus sur autant de toposéquences dominant le lac de Bam ; six couples de parcelles y furent installés au niveau des types de sols suivants :

- Intergrade sol peu évolué non climatique, d'érosion, sol à sesquioxydes de fer, ferrugineux tropical, appauvri modal, sur nappe gravillonnaire et altérations ferrallitiques anciennes de schistes birrimiens : POUNI 1 et 2,

- A sesquioxydes de fer, ferrugineux tropical, peu lessivé, à drainage interne limité en profondeur, sur alluvions et schistes pélitiques birrimiens : POUNI 3,

- Peu évolué, non climatique, d'érosion, lithique sur quartzites feldspathiques birrimiens : SAINT PAUL 1,

- A sesquioxydes de fer, ferrugineux tropical, lessivé à concrétions et hydromorphe, sur quartzites feldspathiques birrimiens : SAINT PAUL 2,

- Brunifié, des pays tropicaux, brun eutrophe, vertique, sur colluvions de chloritoschistes birrimiens : BATANGA 1.

### ***I.3. Zone nord soudanienne (juin 1975)***

#### ***I.3.1. Région centre du Burkina Faso***

- Rives du lac de Loumbila,
- 12°30' N, 01°24' W,
- Pluviométrie moyenne : 800 mm.

Un seul couple de parcelles fut installé sur le type de sol suivant :

- Peu évolué, non climatique d'érosion, lithique, sur nappe gravillonnaire et carapace ferrugineuse : LOUMBILA 1

### ***I.4. Zone sud soudanienne (avril et mai 1976)***

#### ***I.4.1. Région nord Côte d'Ivoire***

- Bassin versant de Waraniéné - Korhogo
- 09°25' N, 05°35' W,
- Pluviométrie moyenne : 1350 mm.

Cinq sites expérimentaux, installés sur une toposéquence furent étudiés : ils sont représentatifs des sols suivants :

- Ferrallitique, moyennement désaturé, remanié avec recouvrement, induré en profondeur, sur granites calco-alcalins : KORHOGO 1,

- Ferrallitique, moyennement désaturé, remanié, appauvri, sur granites calco-alcalins : KORHOGO 2, 3 et 4,

- Hydromorphe, minéral, à pseudogley, à nappe perchée, sur granites calco-alcalins : KORHOGO 5.

### ***1.5. Zone guinéenne mésophile (août, septembre 1975 et janvier, février 1976)***

#### ***1.5.1. Région centre Côte d'Ivoire***

- Bassin versant de Sakassou,
- 06°33' N, 04°49' W,
- Pluviométrie moyenne : 1213 mm.

Deux interventions eurent lieu sur le même site en saison des pluies 1975 et en saison sèche 1976. Les quatre sites expérimentaux, répartis sur deux toposéquences, présentaient les sols suivants :

- Ferrallitique moyennement désaturé, remanié, modal, sur granites migmatiques : SAKASSOU 1,
- Ferrallitique, moyennement désaturé, remanié, colluvionné et induré, sur granites migmatiques : SAKASSOU 2,
- Hydromorphe, minéral à pseudogley, lessivé, sur granites migmatiques : SAKASSOU 3,
- Ferrallitique, moyennement désaturé, remanié, colluvionné et appauvri, sur granites migmatiques : SAKASSOU 4.

### ***1.6. Zone guinéenne ombrophile (novembre et décembre 1978, mars et avril 1979)***

#### ***1.6.1. Région sud-ouest Côte d'Ivoire***

- Bassin versant de l'Audrénisrou, station écologique de Taï,
- 05°20' N, 07°21' W,
- Pluviométrie moyenne : 1978 mm.

Deux interventions en saison des pluies (1978) et en saison sèche (1979) ont permis d'étudier une toposéquence au niveau de deux sites expérimentaux, soit deux couples de parcelles sur les sols suivants :

- Ferrallitique, fortement désaturé, remanié, modal, sur granites migmatiques : TAÏ 1,
- Ferrallitique, fortement désaturé, appauvri, induré, sur colluvions de bas de pente provenant de l'altération des granites : TAÏ 3.

L'ensemble de ces 26 sites représente 46 couples de parcelles expérimentales sur lesquelles ont été simulées 687 averses à l'origine des données exploitées dans cette étude.



## CHAPITRE II

### CARACTERISTIQUES GENERALES DES MILIEUX ETUDIES

La connaissance des différents milieux conditionnant la différenciation des sols peut, de prime abord, apparaître comme une préoccupation conventionnelle et assez éloignée de l'objet de cette étude. En fait, sans en attendre de déductions précises et absolues concernant les comportements, il est certain que toutes informations générales issues d'une recherche bibliographique ou d'observations personnelles permettent, au minimum, de se poser différentes questions pouvant orienter les démarches expérimentales.

Quelle partition faut-il établir entre des dynamiques anciennes et celles récentes, sinon actuelles ? On reste par exemple étonné, dans les zones les plus septentrionales, par la faiblesse des drainages actuels et, par contre, par la nature et l'extension des différenciations toposéquentielles des sols ayant nécessité d'importantes et régulières quantités d'eau pour la mobilisation, l'entraînement et le dépôt des éléments solubles et pseudo-solubles.

Quelle peut être la répercussion sur la dynamique actuelle de la fragmentation des modelés en mailles hydrographiques dont l'extension commande l'activité du réseau, la configuration des versants (régularité, inclinaison, longueur) ?

Quelle peut être l'influence des caractéristiques climatiques sur les activités végétales et animales qui, vues au plan de l'hydrodynamique, constituent un facteur primordial dans le développement de l'espace poral et parfois dans l'apparition de structures interceptrices dissipant les énergies des précipitations ?

Enfin, comme cette étude combine observation et expérimentation, il est apparu obligatoire de caler les protocoles expérimentaux sur des paramètres climatiques réels et de calquer les essais de comportements de sols cultivés sur des situations culturales traditionnelles ou plus élaborées existant effectivement.

### ***II.1. Histoire géologique de la région***

Les informations géologiques proviennent des auteurs suivants :

- pour ce qui concerne la Côte d'Ivoire : Atlas de Côte d'Ivoire (1972 : ARNOUD (1963) ; BOULANGE (1970, 1973) ; BOULANGE et al (1973) ; CLAUDE, BOULANGE (1973) ; COUTURE (1968) ; ESCHENBRENNER, BOULANGE (1973) ; GRANDIN (1976) ; GRANDIN, DELVIGNE (1969) ; TAGINI (1965) ; TAGINI, GOBERT (1972) ; YACE (1967).

- au Burkina Faso : ARNOULD (1961) ; B.R.G.M. (1960) ; BARRERE, SLANSKY (1961) ; DELFOUR, JAMBRUN (1970) ; DUCELLIER (1963) ; PION (1979).

- au Niger : FAURE (1962, 1966) ; GREIGERT, POUGET (1967) ; JEAMBRUN, MACHENS (1962) ; PIAS (1958) ; PIRARD (1964) ; SERVANT (1973),

ainsi que des ouvrages généraux de DRESCH, ROUGERIE (1960) ; FURON (1958) ; MICHEL (1973) ; VOGT (1959).

La compilation des informations géologiques fait apparaître des distorsions assez sensibles dans les interprétations tectoniques et parfois géochronologiques, notamment en ce qui concerne les formations du socle dans les trois pays parcourus. Les points de convergence sont cependant suffisamment nombreux pour en extraire les grands traits géohistoriques et pétrographiques permettant de comprendre l'évolution des modelés et ce que les pédologues désignent par le terme, non interprétatif, de "matériau originel".

L'alignement sud-ouest - nord-est des trois pays : Côte d'Ivoire, Burkina Faso et Niger, correspond à une histoire géologique de l'Afrique de l'Ouest partant du Précambrien inférieur jusqu'au Quaternaire récent : les lacunes stratigraphiques sont importantes et quasi complètes en Côte d'Ivoire (depuis 1 900 millions d'années) puis moins importantes au Niger, qui a vu s'installer à l'ouest et à l'est, deux bassins sédimentaires ayant fonctionné depuis le Cambrien jusqu'au Paléocène. Les manifestations orogéniques présentent également des différences remarquables puisqu'elles remontent à 2 000 millions d'années en Côte d'Ivoire tandis que les jeunes granites de l'Aïr se sont mis en place il y a 160 millions d'années et que le volcanisme de ce massif est sub-actuel. L'originalité de ce transect repose enfin sur la prédominance de roches éruptives et intrusives du vieux socle au sud-ouest et le développement considérable des formations de couverture au nord-est. Les effets conjugués de ces différences de matériau, de climats actuels et surtout de paléoclimats expliquent les particularités géomorphologiques et pédologiques actuellement constatées.

Une synthèse géohistorique semble être la plus appropriée pour présenter les grandes formations pétrographiques de ces trois pays (cf. fig. I.2.).

#### ***II.1.1. Le Précambrien inférieur***

Il correspond à l'Antébirrimien (Côte d'Ivoire, Burkina Faso, région du Liptako au Niger), au Dahomeyen (vallée du Niger), ou encore au Suggarien



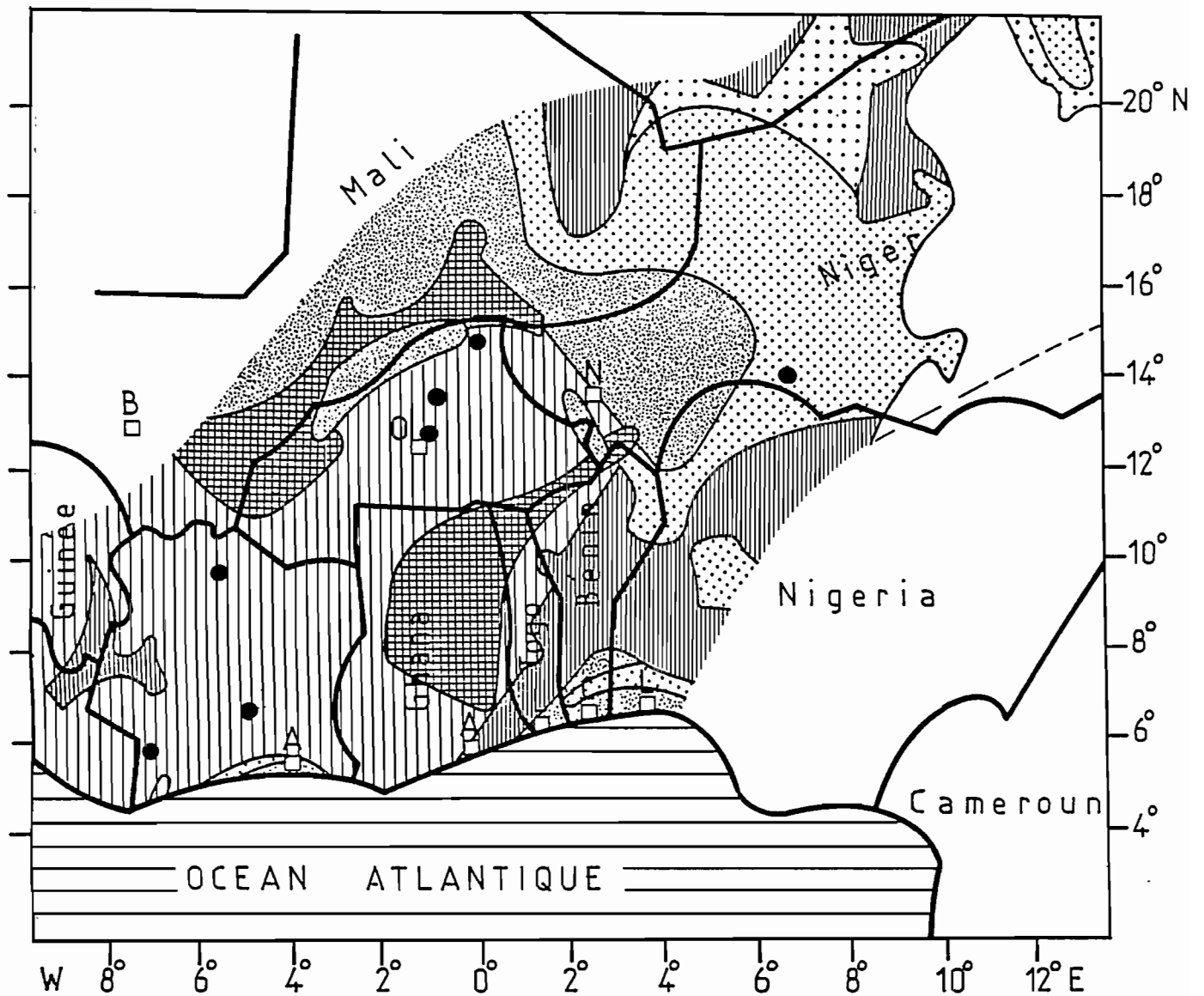












Fig. I.2.: Esquisse géologique du transect (Côte d'Ivoire, Burkina Faso, Niger).

#### LEGENDE

-  Quaternaire
-  Continental Terminal post Eocène
-  Paléocène marin
-  Crétacé supérieur marin et continental
-  Permo-trias à Crétacé inférieur continental
-  Primaire
-  Infracambrien
-  Précambrien supérieur (Tarkwaïen, Buem)
-  Précambrien moyen (Birrimien, Atacorien, Pharusien).
-  Précambrien inférieur (Antébirrimien, Dahomeyen, Suggarien)

(massif de l'Aïr et région du Djado au Niger). Les péripéties de la constitution de cette première plate-forme semblent mieux connues en Côte d'Ivoire où elles résultent du mégacycle orogénique libérien que les datations absolues font remonter entre 3 000 millions et 2 300 millions d'années.

Dans ce dernier pays, il s'agit de roches provenant d'un métamorphisme de profondeur, s'exerçant sur des séries quartzofeldspathiques ou plus basiques et ayant fourni les orthogneiss, les orthoamphibolites et orthopyroxénites des massifs montagneux du centre-ouest (Touba, Blankouma, Man) où des intercalations d'itabirites et de quartzites forment les coeurs des reliefs les plus vigoureux. Toute une série de granitisations, dont les charnockites de Man, marquent la phase post-orogénique libérienne. En Côte d'Ivoire, leur distinction est facilitée par des plissements de direction générale nord-sud et même nord-ouest - sud-est, s'opposant aux axes éburnéens, plus récents, nord - nord-est sud - sud-ouest.

Au Burkina Faso, ce substratum anté-Birrimien est moins bien connu, on lui attribue souvent les gneiss de la série de Bamga (00°05' W - 13°55' N).

Au Niger, le Dahomeyen a été trouvé en gisements isolés de gneiss à muscovite entre Gaya et le double V du fleuve, mais le Suggarien est surtout représenté dans le massif de l'Aïr sous la forme de gneiss, micaschistes, leptynites plissés nord-ouest - sud-est. Il apparaît également dans la boutonnière Crétacé de la région du Damagaram-Mounio au sud-est. Contrairement à ce qui a été observé en Côte d'Ivoire, il ne semble pas y avoir eu de granitisations syntectoniques libériennes au Niger.

### *II.1.2. Le Précambrien moyen*

Il correspond au Birrimien (Côte d'Ivoire, Burkina Faso, région du Liptako au Niger), à l'Atacorien (sud-ouest Niger) et au Pharusien (extrême nord-est du Niger, près du Ténéré).

Ces formations viennent consolider peu à peu, de - 2 300 millions à - 1 700 millions d'années, le socle sud-ouest africain au cours de l'orogénie éburnéenne. L'analyse structurale réalisée en Côte d'Ivoire par TAGINI (1965) ne semble pas avoir reçu les mêmes interprétations en Burkina Faso (DUCELLIER, 1963), mais de nombreuses convergences permettent cependant de retenir un schéma général valable pour ces deux pays. Le socle des libérienides se fracture en plusieurs cratons générant, en se séparant, des fosses géosynclinales en se séparant. La nature des roches découvertes à l'affleurement se différencie selon les types de sédimentation préalables, leur localisation par rapport au système plate-forme - géosynclinal, la profondeur de leur enfouissement. Dans les fosses géosynclinales, se sont déposés des flyschs argilo-gréseux, plus rarement des sédiments marno-calcaires. Au coeur des géosynclinaux, eurent lieu des émissions de laves, gabbros et dolérites. L'ensemble a été ensuite soumis à un métamorphisme général fournissant des séries ortho- et parascisteuses de composition complexe où dominent cependant les schistes à séricite, chlorite, amphibole, avec des intercalations de quartzites. A la suite de cette phase préparatoire intervient la phase éburnéenne paroxysmale amenant plissements et granitisations dont les représentations les plus tardives sont les "granites baoulés" à deux micas. Terminant cette phase paroxysmale, se met en place une multitude de massifs

circonscrits, peu étendus, de granites alcalins et calco-alcalins. Plus tardivement, une érosion partielle du massif birrimien se produit une intrusion de dolérites et d'ultrabasites, dont les métakimberlites de la Côte d'Ivoire.

L'histoire géologique de la Côte d'Ivoire est alors pratiquement terminée, si l'on excepte la faible transgression côtière Eocène et Crétacé. Actuellement, à l'est, affleurent les schistes et grauwares correspondant aux anciens flyschs de comblement ; ces formations se granitisent au nord-est tandis qu'elles sont plus fréquemment perforées de pointement granitiques tardi-tectoniques au sud. Sur une large bande centrale s'étendent surtout les granites du complexe baoulé associés à des panneaux de schistes, à des dykes basiques ou à des batholites de la famille des granitites que l'échelle de la cartographie actuelle ne permet guère de différencier.

Au Burkina Faso, ce système Birrimien fournit à peu près les mêmes faciès en se développant sur les trois quarts du territoire, il disparaît sous des sédiments plus récents au nord et à l'ouest, vers la frontière avec le Mali.

Au Niger, le Birrimien schisteux d'origine géosynclinale se poursuit dans la région du Liptako, en rive droite du fleuve, mais ne dépasse guère la vallée. On retrouve un équivalent Pharusien sur le versant est du massif de l'Aïr, où il est représenté par des conglomérats et des arkoses, ainsi que dans l'extrême nord-est (région du Djado). Les granitisations syn-, tardi- et post-tectoniques se sont également produites dans le Liptako, l'Aïr et le massif de Damagaram au sud.

### *II.1.3. Le Précambrien supérieur*

Le Tarkwaïen n'a pas été retrouvé en Côte d'Ivoire, il semble admis que sa transgression ait pu s'y développer, peut-être même assez largement, mais que l'érosion l'ait fait entièrement disparaître. Au Burkina Faso, il est représenté par des formations détritiques grossières, peu métamorphisées, reposant en discordance sur le socle, et dont les affleurements sont repérables au sud-est près de la frontière dahoméenne. Il en existe aussi de petits affleurements épars, notamment au niveau du site expérimental de SAINT-PAUL près du lac de Bam où il s'agit des grès quartzites reconnus par DUCCELLIER (1963).

### *II.1.4. L'Infracambrien*

Il est représenté au Burkina Faso par des séries, peu métamorphisées, différenciées en "systèmes" en fonction de leurs localisations. Ces systèmes sont tous discordants sur le socle birrimien et essentiellement gréseux. Le système de Bobo-Dioulasso correspond aux plateaux du sud-ouest. Comprenant des grès à intercalations argileuses, dolomitiques, il devient schisteux et grés-quartzitique en sommet. Le système nigérien, à l'ouest, traverse le fleuve Niger entre les 14°50' et les 15°40' N, il comprend à peu près les mêmes séries mais le faciès gréseux y devient plus grossier et conglomératique. Le système voltaïen correspond aux plateaux du sud-est du Burkina Faso, il s'agit de grès durs feldspathiques et de grès argileux qui atteignent et traversent le fleuve Niger au niveau de son double V. Ces ensembles furent fracturés et traversés de dykes de dolérites.

### *II.1.5. Le Primaire*

Du Primaire au Paléocène, le Burkina Faso connaît une longue période de stabilité où socle et couvertures fin Protérozoïque subissent une intense érosion. Des bombements et affaissements du socle amènent l'ouverture de seuils avec la mésogée. C'est notamment le cas au Niger, où se constituent les bassins sédimentaires occidentaux (des lullemeden) et orientaux (partie de l'immense bassin actuellement centré sur le lac Tchad). Le bassin des lullemeden est limité au nord par le Hoggar, l'Adrar des Iforas et l'Aïr, au sud par les massifs du centre Nigéria, à l'est par les 9°00' E. et à l'ouest par le socle du Liptako et les séries du Gourma. C'est dans ce bassin occidental et plus précisément dans la région de l'Ader Doutchi que furent implantés les sites expérimentaux de GALMI.

Du Cambro-ordovicien au Carbonifère, des séries épicontinentales et franchement marines se déposent au nord des deux bassins, plus précisément dans le Ténéré du Tamesna et dans le bassin du Djado (ouest du Tibesti). Sans entrer dans le détail stratigraphique ou pétrographique, signalons que ces séries se succèdent sans lacunes ni discordances stratigraphiques notoires et qu'elles sont souvent composées de la séquence assez classique grès-argile, avec des intercalations calcaires signalant des transgressions marines plus profondes.

### *II.1.6. Du Permo-trias au Crétacé inférieur continental*

Cet épisode essentiellement continental a pris le nom de "Continental Intercalaire" notamment au Niger. Il s'agit des arkoses et grès calcaires permo-triasiques à vertébrés et bois silicifiés du piémont ouest de l'Aïr, des argiles d'Irharzen, des grès, sables et argiles bariolées à Dinosauriens du Tégama. Ces formations, d'une puissance de 1 000 à 1 500 m, ceinturent l'Aïr de l'ouest au sud-est. Elles affleurent sur les cuesta des falaises du Tiguedi, à environ 680 km au sud d'Agadès.

### *II.1.7. Le Crétacé supérieur marin, épicontinental puis continental*

Toutes ces séries ont surtout été étudiées dans le bassin occidental du Niger, le bassin oriental ayant été ultérieurement comblé par des formations quaternaires. Après cette phase de comblement, un golfe atteint de nouveau le Niger et se prolonge peut-être jusqu'à l'actuel Atlantique : du Cenomanien au Sénonien, se déposent des séries surtout calcaires avec des intercalations argileuses. Elles constituent les affleurements en auréoles autour des formations précédentes. Ces séries peuvent aussi réapparaître à l'occasion des incisions des vallées actives méridionales dans l'Ader Doutchi. Les derniers épisodes sont franchement continentaux et constituent le "Continental Hamadien" gréseux grossier à ciment argileux repéré au sud, dans la région de Maradi et de Zinder.

#### *II.1.8. Le Paléocène marin*

L'ultime épisode marin (golfe mésogéen puis mer fermée) a uniquement intéressé le bassin occidental des lullemeden, il s'agit de calcaires zoogènes encadrés par des schistes cartons jaunes à nodules phosphatés.

#### *II.1.9. Le Continental Terminal post-Eocène*

Les séries détritiques du **"Continental Terminal"** marquent une nouvelle phase érosive ; elles existent au Niger, au Burkina Faso et constituent la majeure partie du petit bassin sédimentaire côtier du sud de la Côte d'Ivoire. En Burkina Faso, elles s'étendent au nord-ouest, depuis la mare de Soum jusqu'à la latitude de Dédougou, soit sur environ 400 km de part et d'autre de la frontière avec le Mali. Au Niger, le Continental Terminal affleure surtout dans le bassin occidental. On y distingue 3 séries : séries sidérolithiques de l'Ader Doutchi, sables et grès ferruginisés à oolites de goethites, des séries argilo-sableuses à lignite vers l'ouest de Tahoua et séries de grès argileux peu consolidés, l'ensemble faisant de 80 à 100 m. Dans le bassin est, on n'en retrouve que quelques lambeaux isolés jusqu'aux 14° E. Ce Continental Terminal y constitue des structures tabulaires ou à léger pendage ouest, entaillées par les vallées fossiles ou actives tributaires du fleuve Niger.

#### *II.1.10. Le Quaternaire*

Son étude se confond avec celle de l'évolution des paysages vers leurs formes actuelles et la mise en place des dépôts alluviaux et colluviaux des bas de versant des zones soudaniennes et guinéennes. Cette période correspond aussi aux vastes dépôts éoliens des zones sahéliennes : il s'agit, par exemple, des systèmes dunaires encadrant les alignements de mares du nord du Burkina Faso. Au Niger, l'extension des dépôts et formes d'érosion quaternaires couvrent environ la moitié du territoire au niveau des deux bassins mais les formes les mieux conservées appartiennent au bassin est. Leurs paléogéographies sont inégalement connues, mais la plupart des auteurs (DRESCH et ROUGERIE, 1960) s'accordent pour établir des corrélations avec les alternances climatiques connues dans le bassin du lac Tchad. Les phases humides réinstaurent un réseau hydrographique actif provoquant une érosion et un comblement des dépressions ; les phases sèches fossilisent ces réseaux et amènent, par déflation éolienne, une remobilisation des sédiments et la constitution des différents systèmes d'ergs, repérables par l'orientation et le développement des dunes.

### *II.2. Les principales régions naturelles*

Autant que puisse le permettre la succincte synthèse précédente, il apparaît qu'à une histoire géologique pratiquement terminée à l'Infracambrien en Burkina Faso et en Côte d'Ivoire succède une histoire géomorphologique dont les témoins servent de repères dans la compréhension des paysages actuels. Une longue et obscure période d'abrasion du socle se déroule jusqu'à ce que l'on retrouve ça et là les premiers témoins d'une "n"ième phase d'aplanissement datée, selon les auteurs, entre le Jurassique moyen et la fin du Crétacé. La recherche et la découverte des jalons que sont les **surfaces d'aplanissement**,

consolidées ou non par une cuirasse, permettent de remplacer, en zone de vieux socles tropicaux, la datation obtenue, dans d'autres domaines, par les sédiments corrélatifs. Les érosions consécutives à ces phases d'aplanissement ont abouti à des formes de relief homologues du nord au sud, mais avec des variantes sensibles depuis les zones actuellement sèches jusqu'aux zones actuellement humides. Ces paysages sont ponctués de reliefs plus ou moins importants ayant été épargnés par les aplanissements pour des raisons multiples et souvent hypothétiques.

On se limitera, ici, à une présentation des principaux types de paysages rencontrés sur les lieux des expérimentations.

Les informations générales utilisées dans ce paragraphe proviennent des études suivantes :

- concernant le Burkina Faso : BOULET, LEPRUN (2969) ; BOULET (1968, 1978) ; JOLY et alt. (1980) ; LEPRUN (1968, 1972, 1979) ; PALLIER (1978) ; PION (1979),

- concernant la Côte d'Ivoire : Atlas de Côte d'Ivoire (1979) ; AVENARD et alt. (1972) ; BEAUDOU, SAYOL (1980) ; BONVALLOT, BOULANGE (1970) ; BOULANGE (1970) ; ESCHENBRENNER (1969) ; ESCHENBRENNER, BOULANGE (1970) ; FILLERON, MONNIER (1979) ; LAMOTTE, ROUGERIE (1961) ; LEVEQUE (1982) ; Milieu Naturel de Côte d'Ivoire (1971) ; PELTRE (1973, 1977) ; POSS (1976, 1978) ; RICHARD (1985) ; RIEU (1972) ; RIOU (1966) ; ROUGERIE (1960),

- concernant le Niger : BOCQUIER, GAVAUD (1964) ; BOCQUIER et alt. (1964) ; GAVAUD (1977),

ainsi que les ouvrages plus généraux de MICHEL (1969, 1974) ; SEGALIN (1969) ; TRICART, CAILLEUX (1965) ; VOGT (1959).

Il est plus commode de commencer par les régions naturelles du Burkina Faso puis de progresser vers les zones plus humides méridionales ; une partie du bassin occidental du Niger sera étudiée à part car elle échappe, de par son histoire stratigraphique, au schéma précédent.

### *II.2.1. Le Burkina Faso*

Ce pays a été l'objet d'un aplanissement général très poussé, aussi les régions naturelles y sont-elles assez peu différenciées et plusieurs critères tant tectoniques, stratigraphiques que pétrographiques ou paléoclimatiques, doivent être pris en compte simultanément, pour faciliter la distinction de régions naturelles. Le plus simple est probablement de distinguer une "région centrale", couvrant 80 % du territoire, de ses marges nord marquées par l'apparition d'un vaste système dunaire et de ses marges nord-ouest et sud-est marquées par une succession de "plateaux" sédimentaires se signalant par des pseudo-cuesta et cuesta de plus en plus continues vers le sud. Si l'on retient cette partition, il apparaît que l'on peut encore subdiviser cette région centrale selon la latitude pour y distinguer deux sous-régions de part et d'autre d'une limite diffuse située vers les 12° N : les interfluves étant plus larges vers le nord, plus étroits vers le sud. Cette région centrale dépasse rarement 350 m d'altitude et constitue un vaste plan monotone

légèrement incliné vers le sud, caractéristiques évoquées dans le terme approximatif de "Plateau Mossi" (région de Ouagadougou par exemple). Son originalité repose sur une différenciation lithologique des modelés

Sur le socle granitique, le modèle est ondulé en vastes interfluves à versants rectilignes à légèrement convexes de 8 à 10 km dans le nord et sur 4 à 6 km dans le sud : les pentes dépassent rarement 1 %, les vallées sont larges et peu incisées, le réseau hydrographique emprunte des mailles irrégulièrement hexagonales (cf. fig. I.3.). Les couvertures d'altération s'amincissent ou disparaissent à proximité des thalwegs.

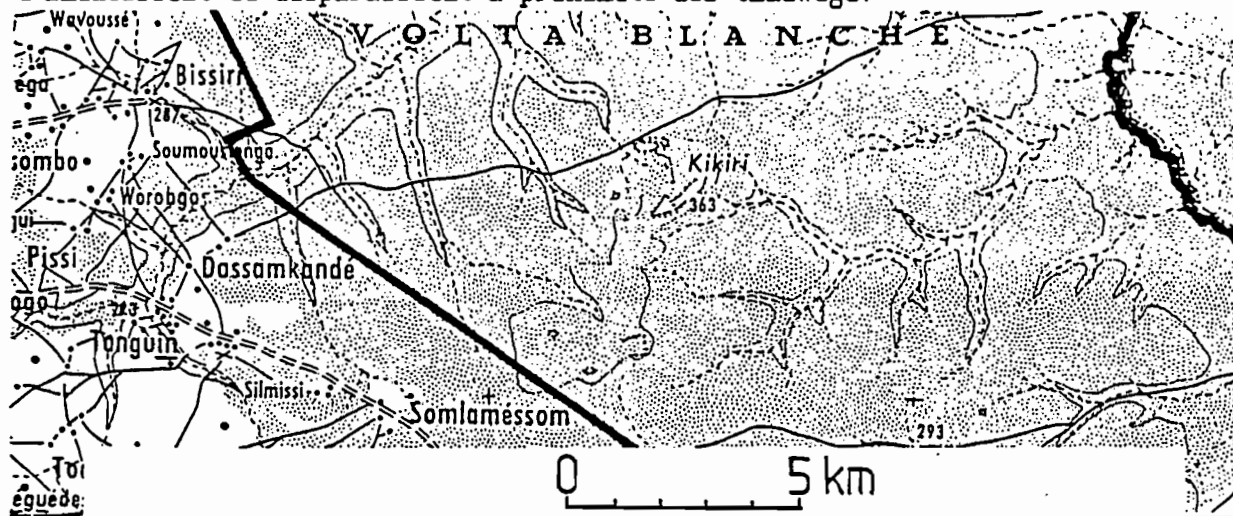


Fig. I.3.: Modelé en région granitique au centre du Burkina Faso ("Plateau Mossi").

De cette plaine mollement ondulée émergent brutalement les chaînons des formations cristallophylliennes birrimiennes (régions de Kaya, Kongoussi, Gaoua, par exemple). Ceux-ci culminent à + 500 ou 550 m et se ceinturent souvent de glacis cuirassés séparés du massif schisteux par un front de cuesta puis par une dépression périphérique à versants concaves (cf. fig. I.4.)

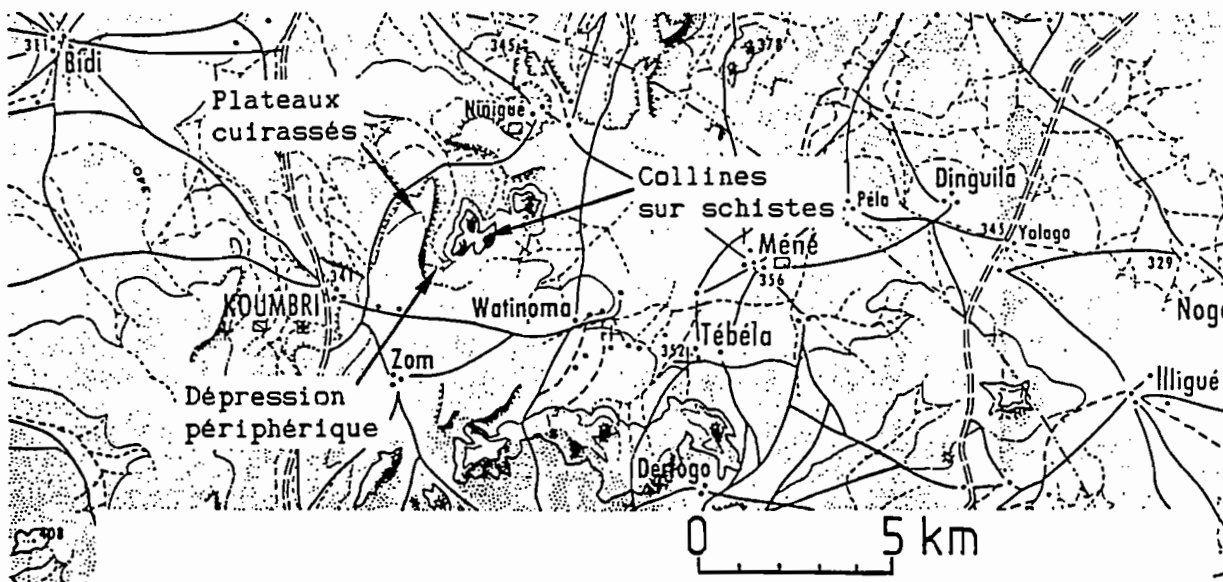


Fig. I.4.: Modelé en région schisteuse au nord-ouest du Burkina Faso.



Le système dunaire du nord présente des alignements parallèles. Leur état de conservation est fonction de leur ancienneté : les plus vieilles (20 à 30 000 ans) forment des ondulations de faible amplitude encadrant des chapelets de mares, les plus récentes (5 à 7 000 ans) sont plus hautes et présentent des flancs dissymétriques plus pentus au nord. Certaines sont reprises par une déflation éolienne actuelle (dunes vives de la mare d'OURSI par exemple).

Les plateaux gréseux s'élèvent au nord-ouest et au sud-est, au dessus de la plaine centrale avec un rebord escarpé recevant localement le nom de "falaises". Ces grès subhorizontaux culminent à quelque + 500 m. Ils sont parfois fracturés et traversés par des intrusions doléritiques (ouest de Bobo-Dioulasso et de Banfora), celles-ci forment des pitons de + 650 à + 700 m ceinturés par des cônes d'éboulis. Plus au nord, vers la Volta Noire, l'altitude moyenne s'abaisse et le contact socle/sédimentaire est plutôt marqué par une série de buttes témoins.

Les différents aplanissements caractérisant la région centrale ont été souvent accompagnés d'immobilisations de fer sous la forme de carapaces et de cuirasses. Ces formations, généralement inactuelles, ont été probablement plus étendues jadis et soumises aux différents cycles érosifs inventoriés, en d'autres pays, depuis le Jurassique jusqu'au Quaternaire. Sans doute moins "stables" et "figées" (LEPRUN, 1979 ; BOULET, 1968 ; PION, 1979) que ce qui est généralement admis, ces cuirasses "protègent" plutôt qu'elles ne fossilisent les matériaux pédoplasés et les altérites sous-jacents et elles se désagrègent à leurs périphéries en colluvions gravillonnaires. La discontinuité qu'elles introduisent dans la toposéquence détermine, pour une large part, la répartition des sols en régions soudanaises.

Ces cuirasses sont présentes un peu partout en Afrique de l'Ouest. Leurs cotes relatives, leurs structures, leur composition, leurs relations avec les formations alluviales, ont permis aux géomorphologues de jalonner l'évolution des paysages en surfaces d'aplanissement étagées en altitude et dont les reliquats sont de plus en plus restreints vers le passé. Il semble que l'on n'ait retrouvé aucune trace, au Burkina Faso, des vieilles surfaces Jurassique et Crétacée répertoriées en Guinée. Par contre, les deux suivantes existent : "surface bauxitique éocène", couronnant les schistes birrimiens de la région de Kaya (+ 510 m), et "surface intermédiaire pliocène" cuirassée, épaisse, culminant aux environs de 450 à 500 m à proximité de la précédente. Viennent ensuite les "cuirasses quaternaires" pour lesquelles BOULET (1978) distingue deux ensembles selon leur gisement et leur puissance : les cuirasses épaisses des buttes témoins dominant la plaine environnante de quelque 5 à 20 m, et celles, plus minces, moulées sur le modelé actuel et se désagrégeant dès le mi-versant. Les opinions concernant leur datation divergent selon les disciplines. Les géomorphologues (VOGT, 1959 ; MICHEL, 1969) leur attribuent deux âges différents, par corrélation avec les cycles paléoclimatiques du Quaternaire ancien et moyen : "cuirasse du haut glacis" de 1,00 à 0,55 millions d'années et "cuirasse du moyen glacis" de 0,55 à 0,11 millions d'années. Les pédologues (LEPRUN, 1972, 1979 et BOULET, 1978) remettent en question cette chronologie. Pour eux, une même cuirasse quaternaire protégerait un ancien modelé fortement ondulé : entaillée par endroits, cette cuirasse constituerait les témoins perchés des sommets alors qu'ailleurs elle se retrouverait sur les interfluvies convexes, recouverte ou non de matériaux meubles.



Vers l'aval des interfluves, on retrouve une "surface fonctionnelle" (BOULET, 1968, 1978), sans ressaut, avec des sols profonds, occasionnellement carapacés, qui correspondrait au "bas glacis" des géomorphologues.

### *II.2.2. La Côte d'Ivoire*

La distinction des régions naturelles de Côte d'Ivoire est sensiblement facilitée par des critères plus nombreux et plus tranchés que ceux du Burkina Faso. Plus nombreux, car s'ajoute le critère des limites de végétation et celui d'un gradient climatique important entre le nord-est et le sud-ouest. Plus tranchés, car les quatre principaux bassins versants atlantiques (Cavally, Sassandra, Bandama, Comoé) voient une fragmentation des formes du modelé d'autant plus accrue que l'on se rapproche de la zone guinéenne. Enfin, si l'on retrouve en Côte d'Ivoire la partition tectonique et pétrographique entre formations cristallines et cristallophylliennes, celle-ci semble encore plus fondamentale par les différences de modelé qu'elle impose du fait de la proximité du niveau de base atlantique. Une simplification, non excessive, permet de distinguer les régions naturelles suivantes :

- la retombée orientale de la dorsale guinéenne au nord-ouest,
- les plateaux du nord,
- les collines du centre et du sud,
- le bassin sédimentaire côtier,
- quelques formes azonales dans tout le pays.

#### *a) La retombée orientale de la dorsale guinéenne*

La majeure partie du nord-ouest ivoirien appartient au domaine géologique libérien séparé du domaine éburnéen par la vallée du Sassandra. Le point frontalier entre la Guinée, le Libéria et la Côte d'Ivoire correspond au chaînon

des Monts Nimba dominant brutalement la plaine de quelque 1000 m, cet édifice est dû à une intercalation de quartzite dans les granites. Le massif de Man (Monts des Dan, Tonkui, Monts des Toura) s'étend sur 120 km au niveau des 7°30' N, s'élève à 800 - 900 m (certains sommets dépassant les 1 200 m) sans contreforts, au-dessus d'un piémont plan drainé par un réseau hydrographique extrêmement dense où alternent des vallées étroitement incisées et de larges bas-fonds plats. Plus au nord, se distingue une troisième sous-région s'étendant à l'ouest d'une ligne Touba-Borotou-Odienné. Cette sous-région est caractérisée par la juxtaposition de collines en dômes arrondis sur granites ou par des inselbergs et des chaînons à sommet tabulaire qui culminent entre 450 et 700 m et qui correspondent aux pointements de dolérites traversant les granites et les gneiss.

#### *b) Les plateaux du nord*

Cette désignation exprime, en raccourci, l'originalité de cette seconde région naturelle qui prolonge la région centrale du Burkina Faso au-delà de la frontière ivoirienne jusqu'aux environs des 8°00' N. Les études morpho-pédologiques de ESCHENBRENNER, BADARELLO (1973, 1978) ; COLLINET (1974) ; POSS (1978) ; BEAUDOU, SAYOL (1980) ; LEVEQUE (1982) ont permis

d'identifier des types de modelé dont les versants présentent des associations de sols suffisamment répétitives pour être représentés sous la forme d'unités cartographiques significatives. Parmi les quelque 11 types de paysages inventoriés, 8 paysages sur roches cristallines leucocrates constituent une filiation entre les deux pôles représentés par les **plateaux à témoins cuirassés**, se raccordant à des versants rectilignes puis concaves, et les **croupes sub-aplanies gravillonnaires ou à affleurements rocheux**, à longs versants convexo-concaves (cf. fig. 1.5.).

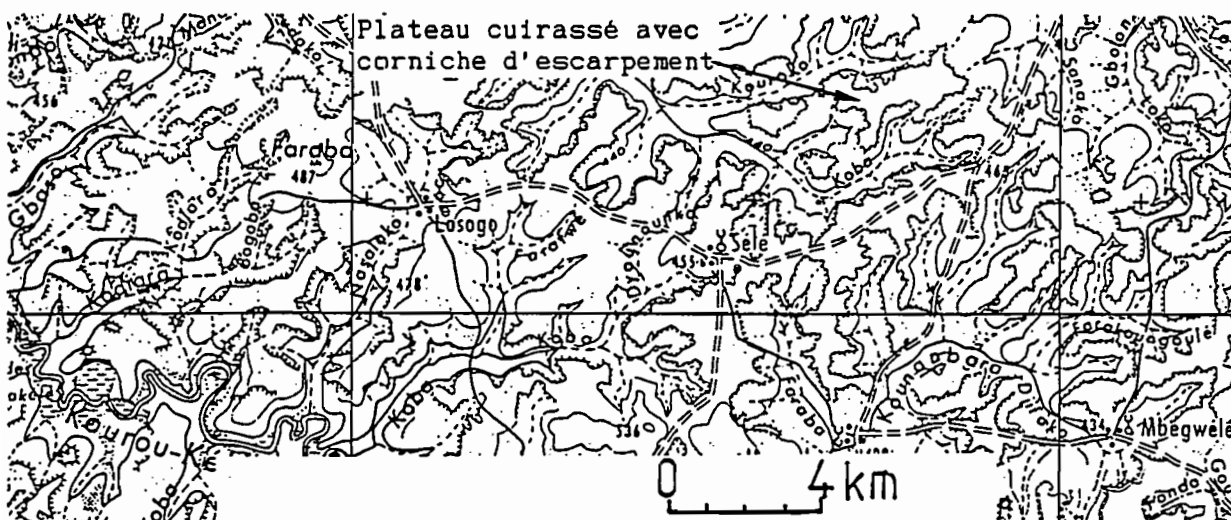


Fig. 1.5.: Modelé en région des "Plateau du nord" de la Côte d'Ivoire.

Selon la position du paysage dans cette filiation, le découpage du réseau hydrographique aboutit à la constitution de mailles interfluves de 2 à 5 km de largeur et de 20 à 50 m de dénivelé. Ce réseau parcourt des vallées très évasées, à fond plan, où s'incise le lit mineur du cours d'eau. Les thalwegs sont souvent annoncés par de discrets ressauts correspondant à l'affleurement des carapaces ferrugineuses de bas de versant. Les altitudes s'échelonnent entre 450 m dans la région de Boundiali et 300 m dans la vallée du Comoé.

Les roches mélamocrates birrimiennes forment des chaînons interrompant la planité de cette région ; on y retrouve souvent, comme au Burkina Faso, un relief de commandement à affleurements rocheux, une dépression périphérique puis des plateaux cuirassés rayonnants.

### c) Les collines du sud

Cette troisième région s'intercale entre la précédente et le bassin sédimentaire côtier, mais elle ne présente son aspect le plus caractéristique qu'à partir des 6°30' N. La transition nord-sud est progressive à l'ouest de la vallée du Bandama, elle est plus brutale à l'est, notamment au niveau du "V baoulé" où se retrouvent de vastes croupes aplanies, cuirassées ou gravillonnaires, comme dans la région nord. Son modelé commence à rappeler celui des zones perhumides ne serait-ce que par l'exigüité des mailles interfluves et la prédominance des convexités. Il paraît possible de distinguer une sous-région de **modelé granitique** à l'ouest du Bandama, d'une sous-région

schisteuse birrimienne prédominante à l'est, et dont les formes caractéristiques remontent jusqu'aux 7°00' N.

En sous-région granitique, le morcellement des mailles interfluves est grossièrement hexagonal, le réseau est confus et mal hiérarchisé, le profil des versants est généralement convexo-concave car les colluvions de bas de versants sont insuffisamment évacués par les cours d'eau (cf. fig. I.6.).

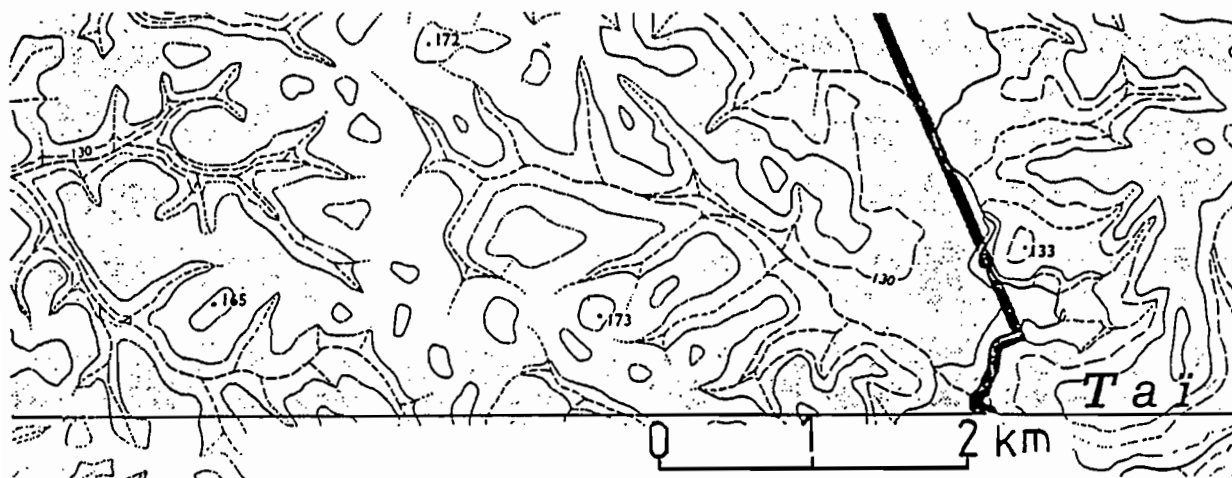


Fig. I.6.: Modelé en région des "Collines du sud-ouest" de la Côte d'Ivoire.

Ces formes ne deviennent exclusivement convexes que dans deux conditions : soit en partie amont des bassins versants où un réseau actif provoque une incision verticale des altérites ou de la roche, soit à l'exutoire des bassins et à proximité des niveaux de base locaux là où les dépôts alluviaux comblent de larges thalwegs qui deviennent coalescents pour constituer un plan marécageux d'où émergent des formes rappelant les "demi-oranges" des régions perhumides.

La sous-région schisteuse du sud est caractérisée par des mailles interfluves plus allongées, encadrées par un réseau en baïonnette mieux hiérarchisé. Le profil des versants montre assez souvent un développement important des concavités de bas de forme se raccordant progressivement aux thalwegs.

#### d) Le bassin sédimentaire côtier

Il s'étend depuis les 6° 0 jusqu'au-delà de la frontière ghanéenne et atteint une largeur maximale de 50 km à l'est d'Abidjan. Le Continental Terminal sableux, parfois argilo-sableux, plus occasionnellement consolidé en grès ferrugineux, donne une morphologie très caractéristique à proximité des côtes. Contrairement à ce que l'on observe en Burkina Faso, son contact avec le socle ne se marque par aucun escarpement. A proximité du système des lagunes, les interfluves deviennent horizontaux. Ils sont nettement entaillés par le réseau, puis comblés par les sédiments quaternaires ou encore envahis par des bras de lagunes. Cette morphologie en "rias" est liée aux variations du niveau de la mer pendant le Quaternaire tandis que courants marins et houle côtière réorientent les colluvions et alluvions en différents cordons lagunaires.

### e) Les formes "azonales"

En exceptant les importants reliefs ouest de la dorsale guinéenne, il apparaît, dans ce qui vient d'être parcouru, une différenciation latitudinale des formes où plateaux et collines semblent constituer les deux extrêmes d'une longue évolution. Au milieu de ceux-ci jaillissent des "édifices" qui semblent être les "laissés pour compte" de cette évolution et ce, même en région sud. C'est ainsi que les affleurements de roches basiques forment des chaînes qui dominent brutalement de plus de 400 m la plaine (chaînes baoulé, de Bongouanou, de Bondoukou, etc.). Les inselbergs constituent, quant à eux, un autre aspect inattendu de modelé : qu'ils soient isolés ou en "champs", on les découvre aussi bien dans le nord que dans le sud forestier. Ils sont souvent granitiques, mais ce n'est pas une règle absolue, et leur genèse semble faire appel à différents processus parfois complémentaires (tectonique et (ou) érosion, altération). Ces inselbergs constituent souvent des impluviums importants amenant une accélération de la différenciation toposéquentielle des sols (POSS, 1976).

Ce compartimentage en régions naturelles est surtout descriptif et, comme en Burkina Faso, il est intéressant d'y resituer les surfaces d'aplanissement.

De nombreux auteurs ont repéré en Côte d'Ivoire plusieurs niveaux d'aplanissement en témoins étagés dont la superficie est en relation étroite avec la protection qu'ont pu leur fournir les cuirassements ferrugineux ou alumineux. L'état de conservation de ces formes est également lié à une différenciation nord-sud des modalités générales de l'érosion : en première approximation, on peut supposer que les processus mécaniques du ruissellement ont prédominé dans le nord, alors que les processus chimiques de l'altération ont pu estomper, dans le sud, les transformations résultant de ces processus physiques.

A l'échelle de la Côte d'Ivoire, et en continuité avec ce qui a été observé au Burkina Faso, il est communément distingué plusieurs surfaces :

- La surface bauxitique Eocène (ou surface Africaine, ou surface Eocène, ou surface I), atteint 6 à 700 m dans le nord-est (Bondoukou par exemple) où elle a surtout été repérée sur les schistes et les roches volcaniques basiques en plateaux de plusieurs kilomètres carrés. Son altitude n'atteint plus que 450 à 500 m dans le centre (régions de Toumodi, Bongouanou par exemple) où les cuirassements restent alumino-ferrugineux sur les schistes arkosiques et les amphibolites.

- La surface intermédiaire Pliocène (ou Reliefs intermédiaires, ou surface II) est protégée par une cuirasse essentiellement ferrugineuse mais celle-ci est souvent disloquée et se présente soit en plateaux isolés comme dans le cas précédent, soit sur des reliquats de glacis monoclinaux encore adossés à des reliefs de commandement. Dans le nord-est (Bondoukou), son altitude oscille entre 400 et 500 m ; dans le centre, cette surface constitue le niveau 300 m repéré sur les roches basiques alors que les schistes n'en présentent que des fragments ou des épendages gravillonnaires. En basse Côte d'Ivoire, il semble illusoire de retrouver les mêmes étagements que dans le nord ou dans le centre à cause d'une érosion chimique plus durable.

• A notre connaissance, personne n'a essayé d'établir en Côte d'Ivoire les mêmes regroupements de cuirasses quaternaires que ceux proposés au Burkina Faso. Le haut glacis (ou surface III) du Quaternaire ancien ne subsiste, en tant que tel, qu'au nord de la limite forêt-savane. Dans la région des "plateaux du nord", les reliquats de haut glacis culminent à des cotes variant de 250 à 400 m, et il est préférable de considérer les dénivellations entre ces témoins et les niveaux de base locaux : ces dénivelés oscillent entre 30 et 50 m selon la nature du substratum et la position dans le bassin versant. Dans le centre (Dimbokro), il ne subsiste de ce glacis que les anciennes parties amont, donc les plus proches des reliefs de commandement, les parties aval sont surtout gravillonnaires et correspondent à des croupes sub-aplanies culminant à un niveau 200 m. Cette distinction glacis cuirassés-croupes gravillonnaires résulte peut-être d'une intensité de démantèlement, donc de l'activité des cours d'eau parfois elle-même modifiée par l'apparition d'obstacles rocheux dans leurs lits. C'est précisément le cas du fleuve Bandama, avec une érosion régressive plus importante sur ses affluents de la rive est, où l'on découvre surtout des collines surbaissées, à affleurements gravillonnaires, culminant à 100 ou 150 m, tandis qu'à l'ouest subsistent des plateaux cuirassés aux cotes 150 ou 250 m.

• Pour les surfaces plus récentes, les corrélations à grandes distances tiennent difficilement : c'est le cas du niveau **moyen glacis** du Quaternaire moyen. Il semble encore pouvoir garder cette désignation dans certaines régions du nord (Téhini, Bouna), où il s'emboîte en contrebas du haut glacis, mais son cuirassement devient sporadique et il est surtout caractérisé par le carapacement des niveaux supérieurs des horizons altéritiques. ESCHENBRENNER et GRANDIN (1970) ont repéré, dans la vallée du N'Zi (6° 50' N), une haute terrasse (100 à 105 m) qu'ils assimilent à la partie aval d'un ancien haut glacis et un niveau inférieur situé 10 m en contrebas, carapacé, qu'ils assimilent à la moyenne terrasse. Cette observation confirme celle de GRANDIN et DELVIGNE (1969) dans la vallée du Kan. A SAKASSOU, l'équivalent de ce moyen glacis serait ainsi, selon RIEU (1972), représenté par un discret replat de versant de raccord également carapacé, plus rarement cuirassé lors d'une mise à l'affleurement. L'influence de ces ressauts sur la dynamique des versants est importante par les **modifications hydrodynamiques** qu'ils introduisent.

• Ce qui est déjà hypothétique pour l'identification du moyen glacis l'est encore plus en ce qui concerne le **bas glacis** qui n'a été reconnu qu'au Burkina Faso, avec les réticences que l'on connaît de la part des pédologues. Dans le nord et le centre de la Côte d'Ivoire, l'équivalent serait des entailles plus ou moins comblées sous des matériaux pédologiquement moins évolués que dans les parties amont : ce sont des sables riches en feldspaths, localement indurés et à contaminations alluviales importantes. Vers le sud, il semble que, lors des alternances des phases sèches et humides, les phases humides plus durables aient favorisé, plus par altération que par érosion physique, la disparition des formes héritées des morphogénèses antérieures. Tout au plus retrouvera-t-on, par exemple dans le sud-ouest (site de TAÏ), de discrets aplanissements en sommet de collines convexes avec des fragments de cuirasses ou, plus souvent, d'assez épais épendages gravillonnaires descendant jusqu'au tiers supérieur des versants ce qui, une fois encore, oriente de façon importante l'hydrodynamique.

II.2.3. La région de l'Ader Doutchi (bassin occidental du Niger)

Cette région, qui fait partie du bassin occidental des lullemeden est originale car elle correspond à la limite est des affleurements du Continental Terminal et des séries Crétacé supérieures et Eocène sous-jacentes. Les descriptions suivantes concernent ainsi une zone délimitée par les 13°40' à 16°00' N et les 4°30' à 6°20' E.

L'Ader Douchi est caractérisé par la superposition de trois grands ensembles sédimentaires déjà signalés. Localement, leurs différences lithologiques sont intéressantes car elles commandent une assez spectaculaire érosion différentielle. De bas en haut, on observe les roches suivantes :

- au Sénonien (220 m) :

- . 130 m de grès fins et argiles sableuses,
- . 30 m de marno-calcaires à lumachelles,
- . 60 m de grès fins, argiles sableuses et calcaires bleus

- A l'Yprésien (50 m) :

- . 10 m de schistes-cartons contenant des nodules phosphatés,
- . 30 m de calcaires à Echinidés avec des intercalations marneuses,
- . 10 m de schistes à attapulgite contenant des nodules phosphatés.

- le Continental Terminal (50 m environ) est uniquement représenté dans la région étudiée, avec des grès ferrugineux à oolites de goethite et des intercalations de sables et argiles kaoliniques.

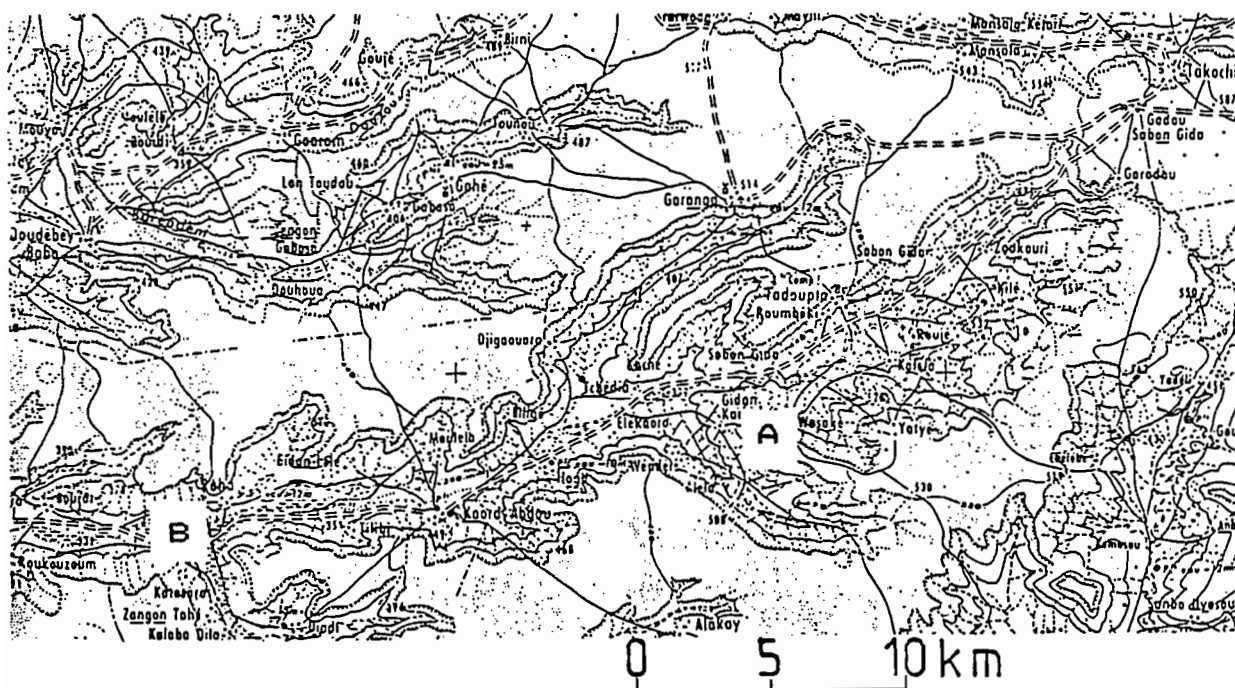


Fig. I.7.: Modelé dans la région de l'Ader Douchi ("Bassin sédimentaire occidental" du Niger).



Les plateaux du Continental Terminal sont découpés par un réseau de vallées sèches dont la morphologie caractéristique apparaît sur la reproduction de carte topographique de la figure I.7., et qui est décrite de la façon suivante par BOCQUIER ET GAVAUD (1964) "Ce réseau des vallées sèches de l'Ader Douthi est très original par son dessin extrêmement découpé et surtout par l'élargissement et l'approfondissement des vallées vers l'amont. En effet, des profils transversaux et longitudinaux montrent que ces vallées peuvent être, à l'amont, larges de plus de 10 km et profondes de 250 m (zone "A" sur la figure I.7.), pour ne plus former, à l'aval, que des exutoires de 100 à 200 m de largeur (zone "B"). Ces auteurs fournissent les raisons de cette différenciation morphogénétique "... c'est dans cet ensemble monoclinale, lithologiquement varié, que s'est implanté un réseau de vallées consécutives ; l'enfoncement a été lent dans les formations sidérolithiques du Continental Terminal, il est devenu plus rapide et plus aisé dès que les calcaires Eocène ont été atteints. Mais, plus que le creusement linéaire, c'est le recul des versants qui a été facilité dans les roches tendres Eocène et Crétacé. Ainsi les vallées ont-elles pu s'élargir et s'approfondir vers l'amont".

Les différentes formes de modelés sont donc liées à ce système d'incision.

#### a) Les plateaux

Ils sont sub-horizontaux (pentes inférieures à 0,8 %) et forment des "lanières" est-ouest séparées par de larges vallées. Ils sont découpés en alvéoles plus ou moins importantes ou en festons continus par le réseau hydrographique primaire. Les grès ferrugineux y affleurent de façon discontinue, en bancs ou en pavages de blocs et cailloux, ils peuvent se couvrir d'ensablements éoliens peu épais vers l'est, plus généralisés et plus épais vers l'ouest.

#### b) Les versants

On conçoit, d'après cette érosion différentielle, quelle peut être la complexité du profil de ces versants où se succèdent abrupts, gradins, replats et collines résiduelles. On comprend aussi qu'à une évolution pédologique zonale et ancienne des sols du plateau (site de GALMI 1), succède une évolution azonale et lithodépendante plus récente sur les versants de ces vallées (sites de GALMI 2 et 3).

Les rebords des plateaux sidérolithiques forment souvent des falaises ou, au moins, des pentes raides encombrées de blocs d'éboulis ; ces éboulis peuvent disparaître sous des colluvions sablo-argileux provenant des éolisations du plateau. Il ne semble plus y avoir actuellement de recul de la falaise, donc de déplacement des éboulis, le ruissellement y paraît important : il se canalise dans un cône de réception où est entretenue une érosion ravinante actuelle.

Plus bas, les marno-calcaires Eocène encadrés par les deux bancs de schistes cartons forment également un talus d'éboulis très pentu sur les calcaires, plus doux sur les schistes. Le ruissellement y est encore plus

important qu'à l'amont, car les fissures des calcaires sont colmatées par les colluvions argileux provenant des schistes amont. Cet ensemble est entaillé par des ravines subséquentes, distantes de 50 à 100 m qui isolent parfois des buttes témoins séparées du versant par des ensellements plans ou déprimés à carapace ferrugineuse.

Vient ensuite un assez long glacis de piémont (1 500 à 2 000 m) formé sur les grès à intercalations marno-calcaires du Sénonien. Les pavages d'éléments grossiers en provenance de l'amont se raréfient et se concentrent dans les collecteurs des ravines amont. C'est également le lieu où s'accumulent préférentiellement les dépôts éoliens anciens, masquant les formations Crétacé.

### c) Les fonds de vallées

Ils sont plans et leur largeur est irrégulière (de 200 à 1 500 m) ; ceci est dû à d'anciennes obstructions sableuses éoliennes ayant désorganisé le réseau. A part ces "bouchons", les vallées ont été comblées par des dépôts alluviaux anciens; les alluvions les plus anciennes peuvent être cuirassées, entaillées et dominent des terrasses plus récentes. L'ensemble est encore parfois compliqué par des colluvions argilo-sableux provenant des versants au niveau des plus gros collecteurs à écoulements concentrés (site GALMI 4). Le réseau hydrographique actuel, caractérisé par un régime temporaire, emprunte vraisemblablement un tracé fossile réalisé à des époques plus humides. Le façonnement des lits est caractéristique de cette zone climatique : écoulements brutaux mais intermittents, creusement des talus de berge, nombreux chenaux plus ou moins hiérarchisés, sédiments abandonnés rapidement pendant la phase de décrue, circulation des eaux liée aux intensités des averses, les fortes crues pouvant emplir la totalité du lit en sapant les berges, les moins importantes utilisant des chenaux provisoires et divagants.

## II.3. Les climats

### II.3.1. La genèse des régimes climatiques

Les différents régimes climatiques rencontrés en Afrique intertropicale voient leur origine dans la convergence vers les basses pressions équatoriales des masses d'air provenant des zones de hautes pressions boréales (anticyclone saharien) et australes (anticyclone de Sainte Hélène). La masse d'air boréale parcourant le continent est chaude et sèche, **harmattan**, par contre, la masse d'air australe se refroidit et s'humidifie au-dessus de l'océan (**mousson**). La différence de densité résultant de cette charge humide entraîne leur superposition : la masse australe pénètre en coin sous la masse septentrionale dans la "zone de convergence intertropicale" (C.I.T.), et la trace au sol de cette superposition constitue le "front intertropical (F.I.T.).

Ce F.I.T. balaye une vaste zone depuis les 4 à 5° N, donc près de la côte atlantique en décembre ou janvier, jusqu'aux 20° N qui constituent son extension septentrionale maximale en juillet ou août. Les différentes régions intéressées sont soumises aux influences de ce balancement saisonnier des masses d'air continentales et maritimes. Les variations latitudinales sont donc



importantes, fonction du décalage saisonnier mais aussi de la perte d'humidité progressive de la masse australe lors de sa migration vers le nord.

De façon un peu plus détaillée, on distingue, de part et d'autre du F.I.T., plusieurs zones (A, B et C) déterminant les régimes climatiques des régions qu'elles atteignent successivement (cf. fig. I.8).

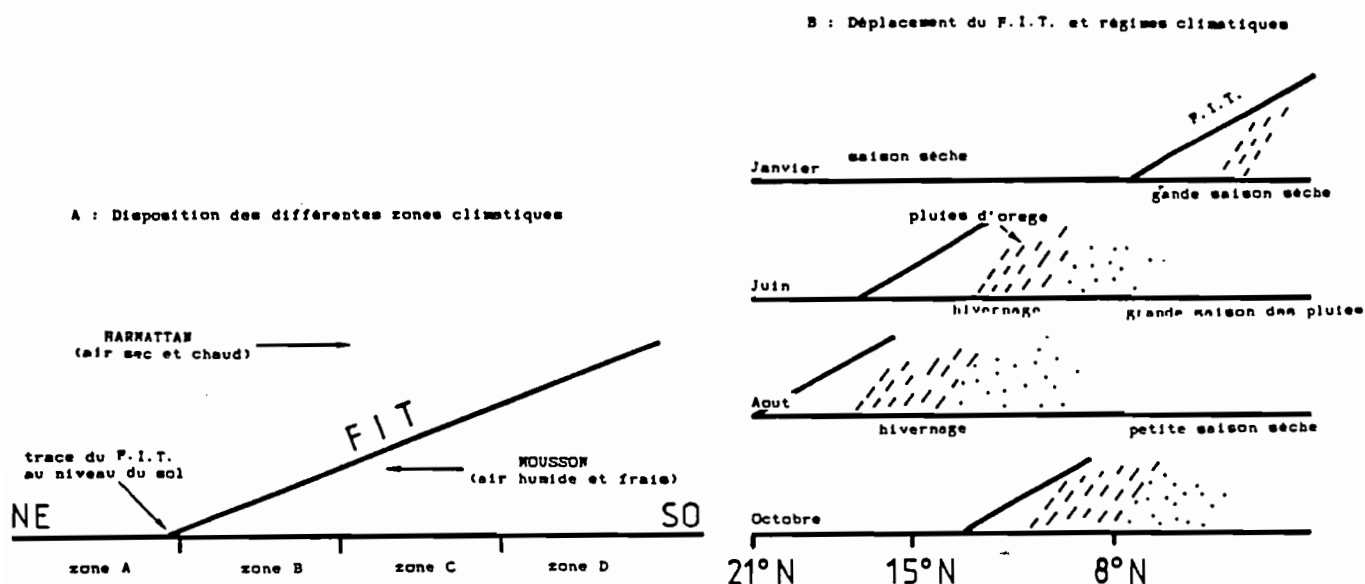


Fig. I.8.: Disposition des zones climatiques dans l'aire de convergence intertropicale, déterminisme des saisons (d'après LEROUX, 1970; ELDIN, 1971; MONTENY, 1980; MONNIER, 1981).

- A : en avant du F.I.T., et sur 3 à 400 km, règne un climat de saison sèche à fortes amplitudes thermiques diurnes (14 à 40°C) et faible nébulosité, l'atmosphère peut se charger de poussières (brume sèche) et l'harmattan soufflant du nord-est peut même soulever des vents de sable dans les zones les plus septentrionales,

- B : au sud de cette première zone et sur environ 1 000 à 2 000 km, s'étend l'aire couverte par la saison des pluies. Ces précipitations tombent en averses orageuses au nord tandis qu'elles sont plus étalées au sud. L'amplitude thermique diurne descend entre 8 et 15°C. La nébulosité est surtout verticale au nord, permettant un fort rayonnement solaire entre deux averses, et devient plus stratiforme au sud où elle diminue d'autant le rayonnement. Les vents de mousson proviennent du sud-ouest.

- C : au-delà de la zone précédente, donc en limite sud de la C.I.T., les précipitations deviennent faibles mais la nébulosité reste très forte, d'où une extrême diminution du rayonnement et des amplitudes thermiques diurnes faibles (environ 5°C). Cette zone "C" ne connaît son extension maximale que sur la Côte d'Ivoire, en août, jusqu'aux environs des 8° N.

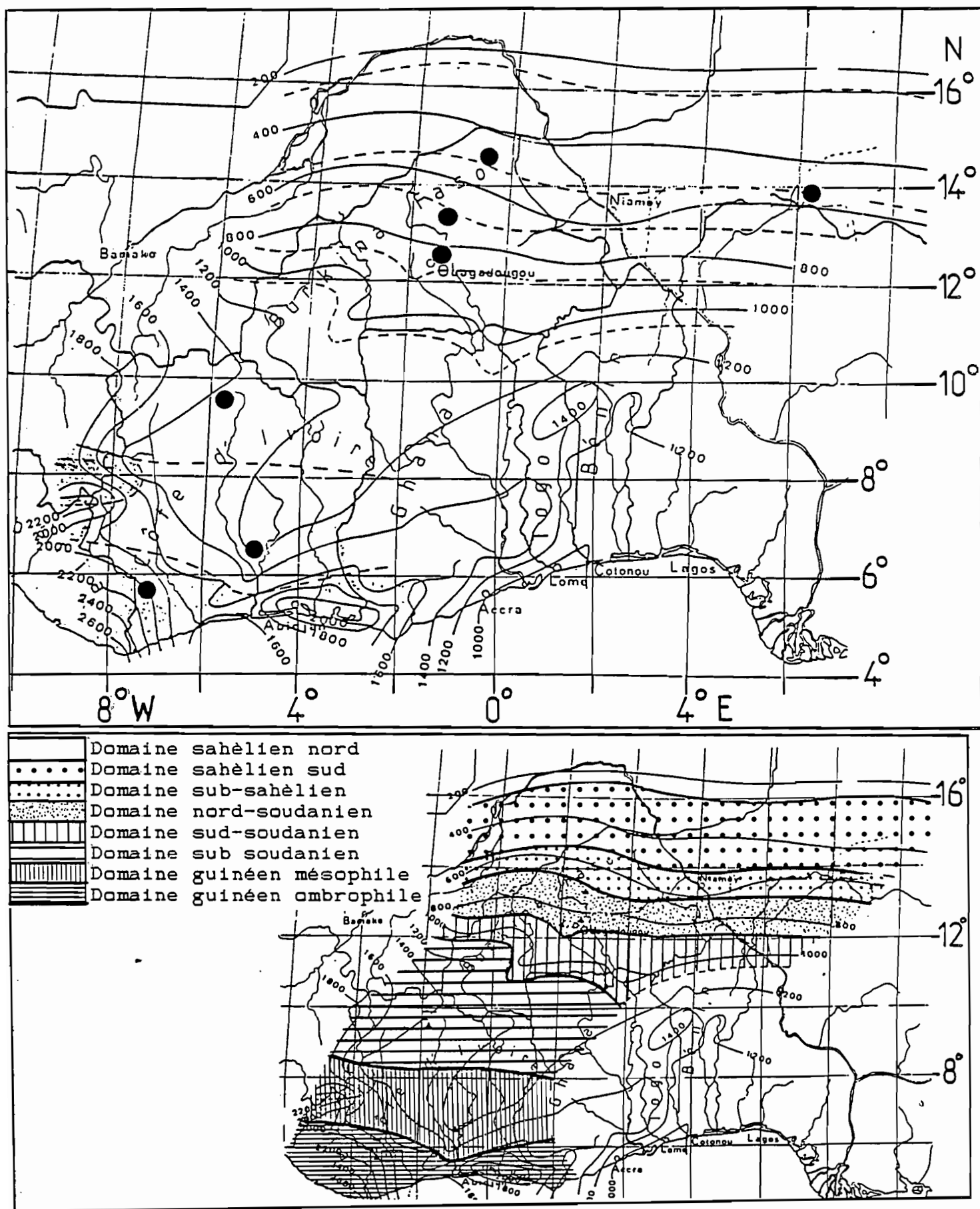


Fig. 1.9.: Isohyètes, zones et domaines climatiques du sud Niger au sud-ouest ivoirien.

Cette oscillation du F.I.T., subit d'importantes variations interannuelles mais il reste possible de distinguer trois grandes zones caractérisées par un régime d'harmattan particulier (MONNIER, 1981) :

- au nord des 12° N, l'harmattan s'installe de décembre à mars ou avril,
- entre 12 et 8° N existe une zone balayée régulièrement par l'harmattan,
- au sud des 8° N, l'harmattan ne fait que des incursions exceptionnelles.

### *II.3.2. La pluviométrie*

La carte des isohyètes de la figure I.9. a été dressée par la compilation des travaux suivants :

- en Côte d'Ivoire : A.S.E.C.N.A. (1960 - 1980) ; Atlas de Côte d'Ivoire (1979) ; CAMUS et al. (1976) ; CISSOKO (1979) ; GIRARD, CHAPERONS (1971) ; LAFFORGUE (1982) ; MONTENY, LHOMME (1980) ; MONTENY (1983) ; SIGHOMNOU (1983),

- au Burkina Faso : A.S.E.C.N.A. (1966 - 1981) ; ALBERGEL et al. (1984) ; BOULET (1976) ; CHEVALLIER et al. (1984) ; GROUZIS et al. (1984) ; PALLIER (1978) ; POUYAUD (1982),

- au Niger : A.G.R.H.Y.M.E.T. (1980) ; GAVAUD (1975, 1977) ; HOEPPFNER et al (1976, 1977, 1978, 1979),

ainsi que les ouvrages généraux de : AUBREVILLE (1949 ; BARRY et al. (1983) ; LEROUX (1983) ; MONNIER (1981).

Les isohyètes suivent un tracé assez régulier et approximativement est-ouest jusqu'aux 13° N, traduisant le simple jeu de l'oscillation des masses d'air. En deçà des 13° N, leurs sinuosités deviennent importantes et leurs orientations traduisent l'influence conjuguée des reliefs guinéens et du tracé de la côte océanique.

On note aussi une équidistance approximative de 75 à 100 km pour 100 mm de pluies au nord des 13° N, alors qu'à proximité des côtes celles-ci descend à environ 20 km, cette particularité a d'ailleurs amené la distinction de nombreux sous-climats en Côte d'Ivoire.

Le centre et sud Niger connaît ainsi un gradient approximativement nord-sud de 700 mm entre l'isohyète 200 mm des 16° N et les 900 mm de son extrême sud (12° N).

Au Burkina Faso, le gradient atteint environ 1 000 mm entre les 400 mm de sa frontière malienne (15° N) et les 1 400 mm du sud-ouest au niveau de la frontière avec le Mali et la Côte d'Ivoire ; il apparaît aussi, dès les 13° N, une orientation ouest - nord-ouest à est - sud-est des isohyètes, qui commence à répercuter l'influence des massifs de la dorsale guinéenne.

Cette concentration des pluies liée au relief se retrouve également près des massifs montagneux du centre-ouest ivoirien, mais le pays se singularise surtout par un gradient très important de 1 800 mm, entre l'extrême nord-est à 1 100 mm, et le sud-ouest côtier à 2 900 mm. On y remarque aussi deux anomalies pluviométriques : celle correspondant à la pénétration des savanes en milieu forestier, sur les deux branches du "V baoulé", où l'isoyète 1 200 mm descend à moins de 150 km de la côte atlantique, et celle des deux maxima côtiers de Tabou et d'Abidjan (2 500 et 2 100 mm). Ces particularités seront reprises ci-dessous, dans la partie consacrée à la classification des régimes climatiques.

Le tableau I, reporté en annexe, regroupe les pluviométries moyennes interannuelles mensuelles et annuelles d'un certain nombre de postes climatologiques représentatifs échelonnés en latitude depuis Tahoua, au Niger, jusqu'à Tabou, sur la côte atlantique de Côte d'Ivoire. Leur comparaison amène un certain nombre de commentaires :

- dans la zone de régime tropical, le maximum de pluviométrie reste centré sur le mois d'août jusque dans le nord ivoirien ; cette augmentation pluviométrique se produit par un étalement progressif, mais dissymétrique, des précipitations de part et d'autre de ce maximum d'août qui concentre près de 40 % des hauteurs annuelles au nord et seulement 20 à 25 % au sud.

- la transition entre le climat tropical à une saison des pluies et le climat équatorial de transition à deux saisons des pluies ne se produit que très au sud, vers 8° N, soit au centre de la Côte d'Ivoire.

D'autre part, l'indice de saisons pluviométriques d'AUBREVILLE (1948) (\*) permet une analyse approximative des variations observées :

- le sud Niger connaît 7 à 8 mois écologiquement secs, cette saison sèche est ramenée à 5 mois au Burkina Faso au sud des 12° N, elle passe progressivement à 3 mois jusqu'aux 9° N en Côte d'Ivoire,

- au-delà apparaît le régime à 4 saisons comportant deux maxima inégaux de pluviométrie, en juin et septembre dans le nord, en juin et novembre près des côtes. Ces maxima délimitent un ralentissement des pluies en juillet-août ou août-septembre et une période écologiquement sèche de 2 à 3 mois de décembre à février.

Du tropical sec au tropical humide, l'augmentation des précipitations est surtout le fait d'une augmentation progressive du nombre des pluies de hauteur moyenne, ce qui correspond au maintien de la zone "B" de la C.I.T. entre les 8 et 12° N. Vers le régime équatorial, le ralentissement estival des précipitations entre les deux maxima est lié à l'extension septentrionale maximale de cette Z.C.I.T. dont seule la zone "C" balaye alors le sud des 8° N.

Ces régimes pluviométriques subissent cependant des fluctuations de deux ordres. Ces fluctuations peuvent d'abord traduire des variations

---

(\*) Cet indice (ISP) est composé de 3 chiffres, le premier correspond aux mois dépassant 100 mm, le second aux mois de 30 à 100 mm, le troisième aux mois, dits "écologiquement secs", à moins de 30 mm de pluie.

interannuelles plus ou moins importantes en années dites "sèches" ou "anormalement humides" par rapport à une hauteur moyenne. On peut ainsi déterminer des coefficients de variation et estimer les totaux pluviométriques annuels pour différentes fréquences de répétition (10, 20, 50... ans). Ensuite, à un autre pas de temps et pour un effectif de données suffisant, il est également possible de détecter des cycles marqués par des périodes d'agradation ou de dégradation pluviométriques, ce qui est malheureusement d'actualité ; les termes "cycles" et "périodes" doivent d'ailleurs être considérés avec prudence tant il est vrai que l'on reste démuné en ce qui concerne les prévisions à long terme.

Concernant les alternances d'années sèches et humides, GAVAUD (1975) estime que les coefficients de variation peuvent passer de 15 % sur l'isohyète 800 mm à 40 % sur l'isohyète 200 mm. Cette estimation relativisant les irrégularités aux hauteurs moyennes est confirmée par BARRY et al. (1983) dans le sahel malien :

=====

**TABLEAU II**  
Irrégularités interannuelles des précipitations  
dans le sahel malien (BARRY, 1983)

	Latitude	Pluviométrie	Coefficient de
	Nord	moyen. (mm)	variation %
TESSALIT	20°12'	83	49
KIDAL	18°26'	141	28
TOMBOUCTOU	16°41'	193	29
GAO	16°16'	260	33
HOMBORI	15°17'	434	23
DOUENTZA	15°00'	506	21

=====

Au Niger, HOEPFFNER et al. (1976, 1977, 1978, 1979) ont calculé, notamment pour deux stations, les fréquences de dépassement suivantes :

=====

**TABLEAU III**  
Totaux pluviométriques annuels de fréquences centennales sèches et humides  
(P. 100 S et P. 100 H), décennales sèches et humides  
(P 10 S et P. 10 H), et pluviométrie moyenne (P. moy.)  
(HOEPFFNER et al. 1976 à 1979)

	P. 100 S	P. 10 S	P. moy.	P. 10 H	P. 100 H
TAHOVA	175	250	345	440	540
BIRNI-N'KONI	240	380	560	740	880

=====

Au Burkina Faso, les études de ALBERGEL et al. (1984) permettent de dresser les mêmes récurrences et les coefficients de variation s'y rattachant :

**TABEAU IV**

Totaux pluviométriques annuels de différentes fréquences et coefficients de variation pour quelques postes du Burkina Faso.

	P, 100 S	P, 10 S	P, moy.	P, 10 H	P, 100 H	coeff, var, %
DORI	239	367	523	678	806	23
OUAHIGOYA	356	499	674	848	991	20
DEDOUGOU	528	706	925	1145	1323	18
FADA NGOURMA	536	685	868	1051	1200	16
BOBO DIOLA	654	864	1122	1380	1590	18
BANFORA	653	880	1160	1439	1666	19
GADUA	669	878	1133	1389	1597	18

En Côte d'Ivoire, les données du tableau V sont extraites des travaux de GIRARD et al. (1971) :

**TABEAU V**

Totaux pluviométriques annuels de différentes fréquences et coefficients de variation pour quelques postes de Côte d'Ivoire.

	P, 100 S	P, 10 S	P, moy.	P, 10 H	P, 100 H	coeff, var, %
FERKESSED	870	1068	1360	1667	1967	18
ODIENNE	1100	1320	1640	1978	2300	16
BONDOUKOU	757	945	1226	1527	1819	19
BOUAKE	769	946	1233	1496	1769	18
MAN	1173	1411	1760	2126	2478	16
DIMBOKRO	781	956	1217	1490	1758	18
ABIDJAN	1140	1557	2073	2588	3007	19
GAGNDA	912	1141	1486	1851	2212	19

L'irrégularité des stations côtières de Côte d'Ivoire, qui ne figurent pas toutes ici, peut atteindre 30 %.

Le long du transect Niger - Côte d'Ivoire, l'irrégularité moyenne avoisine 18 % entre les 6 et 13° N. Les deux extrêmes sahéliens et guinéens forestiers voient par contre s'accroître cette irrégularité avec des effets différents : si, près des côtes, l'année déficitaire reste tout de même globalement humide, il en va tout autrement dans le nord où les préjudices au niveau des cultures ou du pastoralisme sont catastrophiques.

Concernant les oscillations climatiques à plus long terme, les enquêtes auprès des populations ou les études statistiques, lorsqu'elles étaient possibles, ont permis de repérer ces vicissitudes depuis des époques plus ou moins anciennes.

Au Niger, et surtout au nord des 14° N, trois périodes très déficitaires ont été identifiées de 1907 à 1913, de 1940 à 1947 (43 au lieu de 385 mm sur Tahoua en 1942), et de 1969 à 1973.

Au Burkina Faso, la comparaison moyenne mobile - moyenne interannuelle sur 7 stations échelonnées depuis les 10° N jusqu'aux 14° N a fourni les appréciations suivantes (ALBERGEL et al., 1984) :

- 1930 à 1943 : normales à légèrement excédentaires,
- 1944 à 1949 : déficitaires,
- 1950 à 1958 : fortement excédentaires,
- 1959 à 1961 : normales à légèrement excédentaires,
- 1962 à 1969 : excédentaires,
- 1970 à nos jours : fortement déficitaires.

En Côte d'Ivoire selon les travaux de MONTENY (1983) et de CISSOKO (1979), les périodes faiblement déficitaires alternent avec des périodes faiblement excédentaires jusqu'en 1968, puis de 1969 à nos jours, les précipitations deviennent fortement déficitaires avec une année 1980 record où il est seulement tombé 1 137 mm, au lieu des 2 060 mm moyens, ce qui représente une récurrence centenaire sèche !

### *II.3.3. Les autres éléments du climat*

#### *a) Les températures*

Les régimes thermiques dépendent de toutes causes susceptibles d'atténuer les radiations solaires reçues. Parmi celles-ci, on doit surtout considérer la hauteur apparente du soleil en un lieu et à une époque donnée : c'est elle qui modifie l'angle d'incidences des radiations. On a vu, d'autre part (paragraphe II.3.1.), que les déplacements du F.I.T. amènent des masses d'air humides susceptibles d'absorber ou de diffuser les radiations. Ces différentes causes, auxquelles on peut ajouter le rôle occasionnel des poussières atmosphériques, sont à l'origine des régimes observés tout au long du transect étudié.

Les températures moyennes annuelles n'ont pas une très grande valeur informative car elles sont établies soit en pondérant trois relevés journaliers (6 h, 12 h, 18 h), soit en tenant compte des maxima et minima moyens mensuels (ces isothermes passent de 30°C. dans le nord du Burkina Faso à 25°C. dans le sud-ouest ivoirien).

Il est, par contre, plus intéressant de considérer les moyennes mensuelles qui amènent la distinction d'un régime thermique bimodal au nord des 6° N et d'un régime à tendance unimodale au sud. Ces moyennes mettent aussi en évidence une amplitude saisonnière de 10°C dans le nord qui n'atteint plus que 3 à 4°C à partir des 10° N. Ces deux caractéristiques peuvent être suivies sur les relevés des sept stations du tableau VI.

TABLEAU VI  
Régimes thermiques

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
TAHOVA	23,5	26,2	29,7	32,6	33,3	31,5	28,3	26,8	28,3	29,7	27,8	24,3
14°50' N	15,3*			40,6*								
05°15' W												
(Températures moyennes annuelles : 28,5 - amplitude : 9,8)												
DORI	23,5	26,4	29,6	32,7	34,0	31,8	29,4	27,9	28,7	30,4	27,4	24,2
14°02' N	13,6*				41,2*							
00°02' W												
(Températures moyennes annuelles : 28,8 - amplitude : 10,5)												
OUAGADOUGA	25,1	27,9	30,6	32,2	31,4	28,9	27,2	26,1	26,4	28,8	27,8	25,5
12°21' N	16,3*		38,5*									
01°31' W												
(Températures moyennes annuelles : 28,2 - amplitude : 7,1)												
BOBODIOUL	25,8	28,3	29,7	29,5	28,7	26,6	25,3	24,7	24,2	26,9	27,1	25,5
11°10' N			36,2*									18,4*
04°19' W												
(Températures moyennes annuelles : 26,9 - amplitude : 4,2)												
FERKESSED	25,0	27,0	29,0	29,0	29,0	27,0	26,0	25,0	26,0	27,0	27,0	25,0
09°35' N	16,0*		36,0*									
05°12' W												
(Températures moyennes annuelles : 27,0 - amplitude : 2,0)												
BOUAKE	26,5	27,0	27,2	28,0	27,5	26,5	26,0	24,7	24,2	24,7	25,0	26,0
07°44' N	20,5*	34,5*										
04°04' W												
(Températures moyennes annuelles : 26,5 - amplitude : 3,0)												
ABIDJAN	27,3	27,5	27,7	27,7	27,0	25,6	24,8	24,4	25,0	26,0	26,8	27,2
05°15' N		32,1						21,4*				
(Températures moyennes annuelles : 26,4 - amplitude : 2,7)												

#### Légende

- toutes valeurs en degrés centigrades et dixièmes,
- \* : températures maximales et minimales moyennes de l'année.



Le passage du régime bimodal au régime unimodal s'effectue par un regroupement des maxima entre février et mai et un étalement des minima de part et d'autre du mois d'août. On remarquera que la moyenne des minima est inférieure à 15°C dans le nord et voisine des 20°C dans le sud. Dans la nord, des minima absolus de 7°C peuvent occasionnellement être relevés en décembre tandis que les maxima absolus peuvent atteindre 46°C en mai (Dori). Sur Abidjan, ces valeurs limites sont ramenées à 19°C (août) et 35°C (mars).

#### b) Le régime des vents

Il est déterminé par le déplacement des masses d'air australes et boréales.

Dans le sud Niger et nord du Burkina Faso, la mousson souffle du sud-ouest ou de l'ouest - sud-ouest (juin à septembre) avec une vitesse moyenne mensuelle de 3 à 5 m/s, l'harmattan souffle en saison sèche d'octobre à mars de l'est et du nord-est (2 à 3 m/s), c'est aussi l'époque des brumes sèches (10 à 30 jours/an de janvier à mai).

Dans le centre et le sud du Burkina Faso, la mousson du sud-ouest et du sud - sud-ouest souffle de juin à octobre (1,5 à 2,5 m/s), l'harmattan en provenance du secteur est, parfois nord, apparaît en novembre et se maintient jusqu'en février et mars, les mois d'avril et mai voient les premières incursions de la mousson.

En Côte d'Ivoire, les vents de mousson des secteurs ouest et sud deviennent prépondérants depuis les 10° N jusqu'aux 5° N : ils représentent déjà 50 % des vents à Ferkessedougou, puis 70 % à Bouaké et 90 % près des côtes atlantiques.

#### c) L'hygrométrie

L'humidité relative est influencée par la température (action sur la tension de vapeur saturante de l'eau), par le régime des précipitations et, surtout dans le nord, par le changement du régime des vents modifiant la convection de l'air. On conçoit, dès lors, que les domaines à fortes amplitudes thermiques et à précipitations faibles, mais regroupées, présentent de fortes variations du régime hygrométrique tandis que ces variations diminueront dans les domaines à précipitations élevées mais étalées et à faibles amplitudes thermiques. Ceci est illustré par les graphiques ombro-hygro-thermiques des deux stations les plus éloignées de Tahoua (Niger) et Abidjan (Côte d'Ivoire), (figure n° 10).

Sur Tahoua les variations saisonnières de l'humidité absolue (tension de vapeur d'eau) présentent une oscillation de forte amplitude avec un minimum d'environ 5 mb de décembre à février et un maximum de 25 mb, en juillet, août et septembre. Son tracé calque celui des précipitations mais en plus étalé vers avril où se produit un changement du régime des vents ; l'effet résiduel des pluies se poursuit aussi en août. L'humidité relative suit le même rythme avec cependant un minimum avancé d'un mois à cause de l'augmentation des températures modifiant la tension saturante.

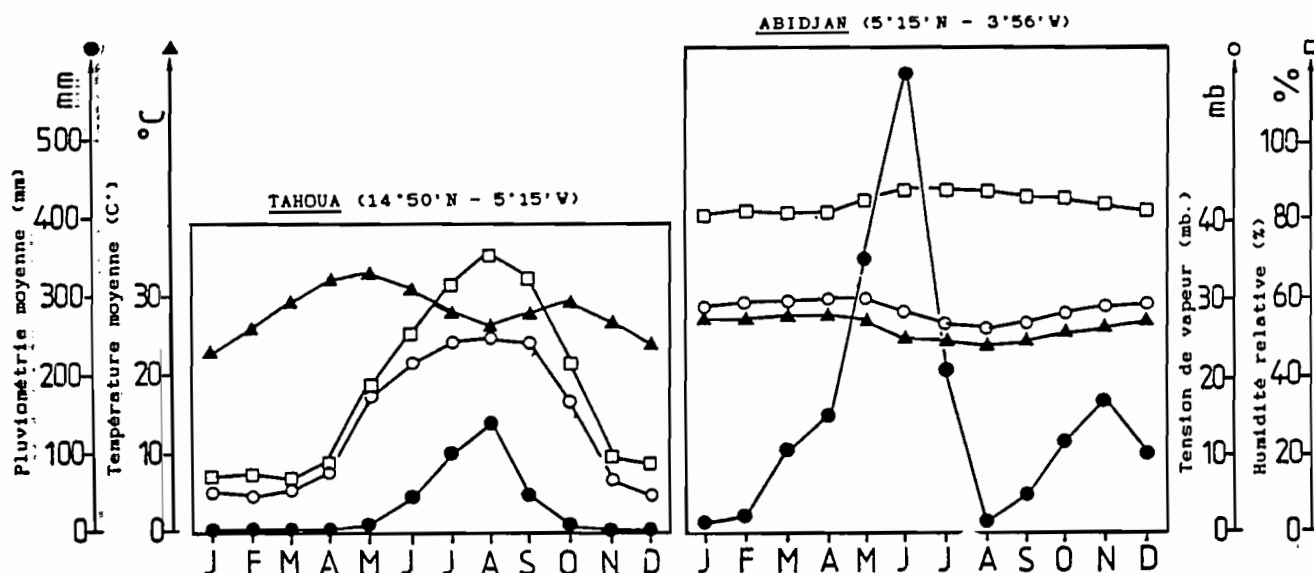


Fig. I.10.: Diagrammes ombro-hygrothermiques de Tahoua (Niger) et d'Abidjan (Côte d'Ivoire).

Sur Abidjan, la quasi-constance des températures, la prédominance d'une mousson sud - sud-ouest, l'étalement des précipitations malgré le "pic" du mois de juin, expliquent les très faibles oscillations de l'humidité relative moyenne autour de 85 %. Cette moyenne est en effet peu influencée par des humidités relatives minimales qui passent de 65 % de décembre à avril à 75 % en août.

D'une façon générale, les humidités relatives moyennes annuelles passent de 30 % vers 16° N, à 50 % (13° N), 70 % (8° N) puis 80 % sous les 6° N, tandis que, sur la même distance, les rapports entre les valeurs extrêmes annuelles passent de 4 à 1,1.

#### d) L'insolation et la transmission du rayonnement

Le rapport du rayonnement global arrivant au sol ( $G_0$ ) sur le rayonnement maximal à son entrée dans l'atmosphère ( $G$ ), ou "transmission du rayonnement" ( $t_r$ ), est un terme intéressant du bilan radiatif, il dépend d'un ensemble de facteurs d'interception (nébulosité, aérosols, etc...) et fournit des estimations sur les besoins hydriques des plantes. Quelques données mettent en évidence l'évolution latitudinale de cette transmission en tirant profit des travaux de KALMS et al. (1979) ; POUYAUD (1982) ; CHEVALLIER et al (1985), (tableau VII).

TABLEAU VII

Evolution latitudinale de la transmission du rayonnement  
(Niger, Burkina Faso, Côte d'Ivoire)

latitudes :		"t <sub>r</sub> " moy. ann. :	"t <sub>r</sub> " extrêmes
14°30' N	:	0,68	: 0,76 (janvier) - 0,62 (juillet)
13°20' N	:	0,68	: 0,78 (février) - 0,55 (juillet, août)
09°30' N	:	--	: 0,55 (février) - 0,40 (août)
07°44' N	:	0,50	: 0,60 (novembre et juin - 0,33 (août)
05°15' N	:	0,44	: 0,47 (février) - 0,29 (août)

La transmission décroît sensiblement du nord au sud, traduisant une variation de l'insolation moyenne interannuelle qui atteint environ 9 h/jour vers les 14° N, 7,5 h/jour vers les 10° N et 5 h/jour sur la côte atlantique (5 N).

#### II.3.4. L'évapotranspiration potentielle : évaluation d'un bilan hydrique théorique

Pour se faire une idée des possibilités d'infiltration il est intéressant d'évaluer, les bilans hydriques des sols du transect en utilisant des formules climatiques permettant le calcul de l'évapotranspiration potentielle. Les mots "évaluation" et "théorique" de l'intitulé précédent rendent compte de la série d'approximations introduites dans les différents termes d'un bilan mensuel et annuel qui, à l'échelle d'une station, prend la forme :

$$P = R + D + ETR + \Delta S$$

- avec :
- P = hauteur des précipitations (mm)
  - R = ruissellement (mm)
  - D = résultante du drainage vertical et (ou) oblique (mm)
  - ETR = évapotranspiration réelle (mm)
  - $\Delta S$  = variation algébrique du stock de l'eau dans le sol (mm)

A l'échelle régionale, on raisonne en terme de déficits (déf.) et d'excédents (exc.) en considérant un réservoir sol de capacité immuable (rés), les excédents s'assimilant aux termes R et D précédents et  $\Delta S$  représentant les vidanges et remplissages du réservoir-sol selon les disponibilités  $P - ETR$  jusqu'à un seuil souvent évalué à 100 mm dans la plupart des formules utilisées.

Cette évaluation régionale des bilans hydriques soulève différents problèmes qui méritent quelques commentaires.

## a) La détermination des précipitations (P)

Elle ne pose pas trop de difficultés, à moins que l'on ne veuille considérer exactement les hauteurs arrivant réellement au sol, ce qui pose le problème de l'homogénéité des précipitations ainsi que celui de l'interception par un couvert végétal suffisamment développé.

## b) Le ruissellement (R) et le drainage (D)

Leur évaluation nécessite celle de l'évapotranspiration potentielle (ETP). C'est ici que se trouve le problème le plus délicat car des formules différentes ont été utilisées du nord au sud.

Dans le nord, la formule de PENMAN prévaut le plus souvent :

$$ETP \text{ (Penman)} = \frac{\Delta/L}{\Delta + \gamma} \times RN + \frac{\gamma}{\Delta + \gamma} \times Ea \text{ (en mm.jours}^{-1}\text{)}$$

avec :

- $\Delta$  = dérivée, fonction de la température de la tension de vapeur d'eau saturante pour les températures moyennes sous abri,
- $L$  = chaleur latente d'évaporation de l'eau (joules.mm<sup>-1</sup>.cm<sup>-2</sup>)
- $\gamma$  = constante psychrométrique (mb.C<sup>-1</sup>)
- $RN$  = rayonnement net de la surface évaporante (joules.cm<sup>-2</sup>.jours<sup>-1</sup>)
- $Ea$  = évaporation d'une nappe d'eau fictive pour la température moyenne sous abri (mm.jours<sup>-1</sup>)

Son expression met donc en jeu des échanges de chaleur par rayonnement et des convections entre la surface évaporante et son environnement air ou sol. Elle rend compte de processus réels et il est notamment possible de modifier par jours, décades ou mois le terme  $RN$  en adaptant le rapport du rayonnement réfléchi au rayonnement incident (albédo) selon la nature de la surface réfléchissante (sol nu clair ou sombre, couvert végétal, etc.). Mais cette formule implique la connaissance de nombreux paramètres pas toujours disponibles, aussi lui préfère-t-on parfois deux autres formules : celles de THORNTHWAITTE et celle de TURC.

Celle de THORNTHWAITTE caractérise l'ETP par le seul facteur température :

$$ETP \text{ (Thornthwaite)} = 16 \left\{ -\frac{10t}{I} \right\}^a \text{ (en mm.jours}^{-1}\text{)}$$

avec :

- $t$  = température moyenne de la période considérée
- $I$  = indice thermique global (somme des indices mensuels "i")
- $i = (t/5)^{1.514}$
- $a$  = fonction complexe de l'indice  $I$ .

Si cette formule a l'avantage de n'exiger qu'un minimum de données, elle reste entachée du défaut de ne pas prendre en compte le déficit de saturation, or, pour une même température moyenne, le pouvoir évaporant de l'air dépend beaucoup de son degré hygrométrique et aussi de la convection due au vent.

La formule de TURC est plus souvent utilisée dans les zones humides, elle se présente sous la forme :

$$\text{ETP (Turc)} = 0,013 n \times \frac{t_a}{t_a + 15} \times (R_g + 50) \text{ (en mm.jours}^{-1}\text{)}$$

avec :

- n = nombre de jours de la période considérée,
- t = température moyenne au cours de cette période,
- R<sub>g</sub> = radiation solaire globale évaluée par une autre expression à partir de la durée de l'insolation

Les appréciations sur la validité de cette expression, faites par comparaison avec des ETP mesurés en lysimètre, divergent : la formule semble satisfaisante en zone humide, mais reste approximative en zone sèche. C'est cependant celle qui sera retenue, d'une part, pour homogénéiser l'information, d'autre part, parce que son calcul ne requiert qu'un petit nombre de paramètres disponibles. On établira cependant quelques comparaisons, en zone sèche, avec des bilans obtenus par calcul de l'ETP PENMAN.

#### c) La détermination du stock hydrique (S)

Ce stock est fixé arbitrairement à 100 mm par THORNTHWAITE et TURC mais on peut aussi essayer de l'optimiser en fonction des caractéristiques sol-végétation pour lui substituer une valeur "réserve utile" (ru).

La détermination de "ru" reste cependant sujette à de nombreuses approximations ; en effet, si le stock d'eau ("S" en mm) sur une épaisseur de sol ("e") en cm) s'exprime par :

$$S = H_v \times e/10 \quad \text{avec } H_v = \text{humidité volumique.}$$

L'assimilation de "S" à "ru" impose l'assimilation de "e" à une profondeur d'enracinement évidemment très variable d'un sol à l'autre pour une étude régionale, d'une part, et pour une dynamique de croissance végétale éminemment variable selon les espèces, d'autre part.

Une certaine fantaisie règne également dans la détermination de "H<sub>v</sub>" qui, dans l'assimilation de "S" à "ru", correspond dès lors à la gamme d'eau utilisable par les plantes (eu). Cette gamme d'eau utile est délimitée par deux teneurs en eau du sol correspondant à deux types de liaison de cette eau avec sa matrice :

- le point de flétrissement permanent, qui représente l'état de dessèchement ultime auquel un couvert végétal peut amener le sol et qui correspond à une force de succion de 16 atm. (pF. 4,2),

- la capacité au champ qui est définie comme l'humidité correspondant au passage de la dynamique rapide de l'eau à une dynamique de ressuyage lent, passage qui se produit à la fin de l'écoulement gravitaire et qui est marqué par l'apparition de transferts eau-matrice liés à des phénomènes de tension superficielle.

Contrairement au point de flétrissement, la capacité au champ ne correspond pas à une force de succion. Si elle croît effectivement avec la

teneur en colloïdes, elle dépend également de la méso- et de la microstructure des sols et sa détermination, en prenant les humidités aux pF 2,5 à 3,0 selon les textures, n'est qu'une approximation hasardeuse. La gamme d'eau utilisable par les plantes ne peut, en fait, être déterminée qu'expérimentalement.

Pour l'établissement d'un bilan théorique, on en revient donc à une estimation théorique de la réserve utilisable, mais on peut donner à cette estimation une dimension plus réaliste en tenant compte de la profondeur d'enracinement et des caractéristiques générales des sols étudiés. Ceci donne les valeurs des eaux utilisables (eu) suivantes:

- TAHOVA (14°50' N, Niger) : 50 cm d'enracinement, l'eau utilisable, obtenue par une péréquation sur les types de sols représentatifs, avoisinerait 0,6 mm/cm soit 30 mm,

- MARADI (13°25' N, Niger) : enracinement de 50 cm, e.u. de 1 mm/cm, soit 50 mm,

- DORI (14°02' N, Burkina Faso) : enracinement de 75 cm, e.u. de 0,7 mm/cm soit 50 mm,

- OUAGADOUGOU (12°21' N, Burkina Faso) : enracinement de 75 cm, e.u. de 1 mm/cm soit 75 mm,

- BOBO DIOULASO (11°10' N, Burkina Faso) : enracinement de 100 cm, e.u. de 1 mm/cm soit 100 mm,

- FERKESSEDOUGOU (9°35' N, Côte d'Ivoire) : enracinement de 120 cm, e.u. de 0,8 mm/cm soit 100 mm.

- BOUAKE (7°44' N, Côte d'Ivoire) : enracinement de 100 cm, e.u. de 1 mm/cm soit 100 mm,

- DIMBOKRO (6°30' N, Côte d'Ivoire) : enracinement de 100 cm, e.u. de 0,7 mm/cm soit 75 mm,

- ABIDJAN (5°15' N, Côte d'Ivoire) : enracinement de 100 cm, e.u. de 1,5 mm/cm soit 150 mm,

- TAÏ (5°52' N, Côte d'Ivoire) : enracinement de 100 cm, e.u. de 1 mm/cm soit 100 mm.

Les bilans hydriques théoriques de ces dix sites sont présentés sur le tableau VIII (en annexe). Pour les raisons d'homogénéité déjà évoquées, la formule de TURC a été retenue mais on a également présenté quelques bilans (Oursi et Bam) en reprenant l'ETP PENMAN ainsi qu'une estimation à partir des données lysimétriques disponibles (POUYAUD et al. 1983, 1985).

Le calcul se fonde sur la disponibilité de l'eau laissée par la différence  $P - ETP$  puis  $P - ETR$ , emplissant ou vidant des réserves du sol, d'où des périodes déficitaires ou excédentaires. Le pas de temps est mensuel ce qui constitue une généralisation critiquable, notamment en zone sèche où les germinations profitent surtout des "trains" de petites averses dont les effets sont évidemment estompés au niveau d'estimations mensuelles. Les données du

tableau VIII (en annexe) se limitent ainsi aux prétentions suivantes : évaluation des isodéficits annuels, détermination du nombre de mois secs, taux de remplissage des réserves du sol et, éventuellement, drainages excédentaires. Ces informations sont présentées sous une forme condensée sur le tableau IX.

=====

**TABEAU IX**  
Comparaison des régimes hydriques

: Latitude N. :	déf./P :	Mois déf. :	100 d/P :	rés. :
: 1 :	: 2 :	: 3 :	: 4 :	: 5 :
: 16° :	: 3,4 à 5,0 :	: 11/12 :	: 4 à 6 % :	: aucun (0,5) :
: 14° :	: 1,3 à 2,8 :	: 9/12 :	: 17 à 26 % :	: 1 à 2 :
: 12° :	: 0,4 à 0,8 :	: 7 à 8/12 :	: 32 à 37 % :	: 3 :
: 8° :	: 0,3 :	: 5/12 :	: 8 à 16 % :	: 1 à 2 :
: 6° :	: 0,1 :	: 2 à 3/12 :	: 41 à 45 % :	: 3 à 7 :

#### Légende

- colonne 1 : degrés de latitude Nord (généralement deux stations pour deux degrés)
  - colonne 2 : rapport du déficit hyrique annuel à la pluviométrie,
  - colonne 3 : nombre de mois déficitaires sur l'année,
  - colonne 4 : rapport (%) du drainage regroupant l'eau excédentaire + une capacité de "réservoir sol" à la pluviométrie annuelle,
  - colonne 5 : mois où les besoins hydriques des plantes sont totalement satisfaits.
- =====

L'analyse de ce tableau suscite trois remarques :

- hormis une très faible possibilité de stockage, un drainage nul existerait au nord des 14°30' N ce qui est également signalé par BOULET (1964) ; GAVAUD (1977) et LEPRUN (1979). On peut donc se poser la question de la maintenance des cultures vivrières qui se pratiquent dans ces régions. La réponse se place sur les plans théoriques et pratiques : d'une part, on a déjà signalé que le pas de temps mensuel ne pouvait rendre compte de l'utilisation d'apports hydriques fractionnés et d'autre part, les pondérations entrant dans l'évaluation de l'eau utile (e.u.) estompent les différences pédologiques et ne rendent pas compte de la méso-topographie pouvant favoriser l'accumulation d'eau provenant d'impluvium peu perméable. Aussi, dans ces régions, la probabilité d'humectation des horizons de profondeur n'est-elle jamais nulle.

- le régime hydrique dégradé entre les 6 et 8° N (Centre Côte d'Ivoire) s'explique par la diminution pluviométrique déjà signalée dans le paragraphe II.3.2., mais aussi par la nature particulière des sols dans le "V" baoulé dont il a semblé opportun de péjorer les réserves utiles.

- il faut enfin noter, en colonne 2, l'importance du gradient déficitaire qui, sur environ 1 000 km se trouve multiplié par un facteur 50.

On a enfin, établi les "indices de drainage" calculés selon la formule de HENIN et AUBERT (1945) qui se présente sous la forme :

$$D = \frac{\gamma P^3}{1 + \gamma} \text{ (en mm)}$$

avec :

- P = pluviométrie annuelle (en mètres)
- $\gamma = \frac{b}{0,15 T - 0,13}$  "b" sable = 2,0  
"b" argile = 0,5
- T = température moyenne annuelle.

**TABLERAU X**

Comparaison des drainages "HENIN-AUBERT" et ceux du bilan hydrique théorique (TURC), en mm

	D sur argile	D sur sable	excédent + réserve
TAHOVA	7	28	17
MARADI	28	98	155
DORI	18	67	32
OUAGADOUGOU	75	238	237
BOBO DIOULASSO	177	489	433
FERKESSEDOUGOU	253	650	428
BOUAKE	188	512	189
DIMBOKRO	192	522	105
ABIDJAN	712	1392	841
TAI	633	1274	869

Les drainages calculés du tableau X encadrent généralement ceux du tableau VIII, à condition que les comparaisons portent sur des drainages TURC assimilés à la somme excédent + réserve. On trouve d'ailleurs en zone perhumide (Gabon) des relations aussi étroites en utilisant la même méthode.

### II.3.5. La distribution des domaines climatiques et les particularités régionales

Tout ou partie des informations précédentes permettent la subdivision des pays étudiés en différentes zones ou domaines climatiques. Cette opération, déjà réalisée à l'échelle de l'Afrique de l'Ouest par AUBREVILLE (1949), sert encore actuellement de canevas à de nombreuses propositions plus localisées, où les critères retenus sont évidemment fonction de préoccupations spécifiques des disciplines (botanistes, forestiers, agronomes, bioclimatologues, etc.). Les autres travaux consultés proviennent de ELDIN (1971) ; MONNIER (1981) ; MONTENY et LHOMME (1982) ; LEROUX (1983) ; FONTES (1983) ; GUINKO (1984) ; ALBERGEL et al. (1984).



Les pays étudiés peuvent se subdiviser en 8 zones ou domaines climatiques (figure 1.9). En bref, leurs critères de délimitation sont les suivants :

**a) La zone sahélienne**

- aire d'extension de 18°30' N à 13 ou 14° N,
- délimité au nord par la zone saharienne tropicale ,
- limites sud correspondant aux isohyètes 550 ou 650 mm selon les auteurs, isohyète 100 mm au nord, régime des précipitations unimodal avec un maximum en août,
- température moyenne annuelle supérieure à 30°C, amplitude moyenne de 10°C,
- humidité relative moyenne annuelle inférieure à 40 %.

Cette zone sahélienne est souvent subdivisée en trois domaines nord, sud, et sub-sahéliens selon des nuances dans la répartition des saisons :

• le domaine sahélien nord ne couvre pas notre étude (nord des 16° N, isohyète 250 mm),

• le domaine sahélien sud s'étend des 16 au 14 ou 14°30', reçoit de 350 à 650 mm de pluie, il est soumis à 6 mois de mousson de mai à octobre et 6 mois d'harmattan de novembre à avril à l'ouest des 2° E, et plutôt 5 mois de mousson et 7 mois d'harmattan à l'est de cette limite, donc principalement au sud Niger.

• le domaine sub-sahélien s'étend entre les 14 et les 13° N et reçoit de 550 à 650 mm, les autres caractéristiques ne le différencient guère du domaine précédent.

**b) Le domaine nord-soudanien**

- aire d'extension de 14° à 11°30' N environ,
- donc délimité par les isohyètes 650 et 900 mm avec un régime unimodal toujours centré sur août,
- soumis à 7 mois de mousson d'avril à octobre et 5 mois d'harmattan de novembre à mars,
- température moyenne annuelle de 28 à 29°C dont des maxima moyens de 42°C, une amplitude de 8 à 10°C et un régime bimodal,
- hygrométrie moyenne de 40 à 50 % et à fortes variations saisonnières (facteur 3 à 4).

c) Le domaine **sud-soudanien** (sud-soudanien s.s. + sub-soudanien)

- aire d'extension de 11°30' N à 8° N soit du sud du Burkina Faso au Centre Côte d'Ivoire,

- délimité au nord par l'isohyète 900 mm et au sud, balayé obliquement par les isohyètes 1 200 à 1 500 mm,

- soumis à 9 ou 10 mois de mousson (février, mars à novembre) et 2 à 3 mois d'harmattan (décembre et (ou) janvier ou février),

- température moyenne annuelle de 26 à 27°C avec une amplitude de 4 à 6°C et un régime encore bimodal,

- hygrométrie moyenne de 60 à 70 %, à variations saisonnières moyennes (facteur 1,5 à 2).

d) La zone **guinéenne**, ou zone de la mousson atlantique permanente (en Côte d'Ivoire).

Il se subdivise en deux secteurs mais aussi en nombreuses régions et sous-régions climatiques qui avaient déjà été prévues par AUBREVILLE et ont été maintenues par divers naturalistes, avec quelques variantes traduisant les pôles d'intérêt de chacun d'entr'eux. On retiendra les propositions des botanistes (GUILLAUMET, ADJANOHOVON, 1971) et celles exposées par LEROUX (1983).

Le secteur **mésophile** guinéen commence au sud des 8° N, sa limite méridionale affecte la forme d'un arc de cercle passant, à l'ouest, dans la région de Man, recoupant au sud le cours du fleuve Bandama vers les 5°30' N (à 70 km des côtes) et remontant vers les 6° N à l'est, à proximité de la frontière ghanéenne. Ses caractéristiques sont les suivantes :

- climax forestier dense humide semi-caducifolié ; les grands arbres perdent en effet leurs feuilles mais les strates inférieures sont sempervirentes,

- domaine balayé par les isohyètes 1 200 à 2 000 mm, à mousson quasi permanente sauf incursions exceptionnelles d'harmattan pendant quelques jours au sud et parfois un mois en limite nord,

- température moyenne annuelle de 25 à 27°C, avec une amplitude saisonnière d'environ 4°C, un régime bimodal au nord devenant unimodal au sud,

- hygrométrie moyenne annuelle de 70 à 80 %, à faibles variations saisonnières (facteur inférieur à 1,5).

Le secteur **ombrophile** guinéen recouvre sur 20 à 50 km le secteur précédent ; selon les botanistes, il correspond à l'extension d'espèces renouvelant perpétuellement leur feuillage, exigeant plus de 1 700 mm de pluies annuelles et moins de 4 mois déficitaires en eau. On conçoit, de ce fait, ses interpénétrations avec le secteur précédent en une multitude de petites zones où les caractéristiques hydrodynamiques des sols sont plus favorables.

Une analyse plus approfondie permet de déceler quelques particularités régionales.

Au sud Niger, aucun relief ne vient perturber la zonalité présentée précédemment et il faut donc retenir que l'isohyète 400 mm semble, théoriquement, délimiter la zone à drainage nul.

Au Burkina Faso, il est souvent distingué une région sud-soudanienne ouest d'une région sud-soudanienne est : l'ouest est plus arrosé (plus de 1 300 mm) et, certaines années, on y décèle une tendance bimodale des précipitations avec une diminution relative en juillet.

En Côte d'Ivoire, il faut retenir l'influence des reliefs de la retombée de la dorsale guinéenne : elle justifie la distinction d'une région dite "montagnarde" à l'ouest et impose une correction du tracé des limites entre les domaines soudaniens et guinéens. Il faut également signaler le déficit pluviométrique du "V" baoulé et les maxima côtiers du sud-ouest ; ces particularités ont reçu diverses explications que l'on peut résumer rapidement.

Le changement d'orientation de la côte vers la frontière libérienne (7°40') serait responsable de la diminution ouest-est de la pluviométrie, il tombe en effet 4 mètres entre les 8 et 12° W et seulement 2 mètres au-delà des 8° W. Selon AUBREVILLE, cité par ELDIN (1971), "les pluies sont d'autant plus intenses sur la côte que cette dernière a une direction d'autant plus voisine de la perpendiculaire au vent". ELDIN reprend cette argumentation et lui adjoint celle de l'influence du relief pour expliquer la sécheresse relative du "V" baoulé : la mousson perdrait beaucoup de son humidité lors de sa traversée des reliefs du sud-ouest (mais ceux-ci ne dépassent guère 300m !).

D'autres auteurs voient dans cette sécheresse relative non pas une cause mais une conséquence de la prolongation méridionale des savanes, et d'une plus grande pérennité des activités humaines (défrichements, feux de brousse). Concernant plus précisément l'existence de ces savanes, PELTRE (1979) pense que "l'explication des savanes "baoulé" par le climat actuel reste sujette à caution", il les considère comme une "relique paléoclimatique localisée en fonction de la nature du socle et des modalités d'évolution du relief", son argumentation s'appuie sur les alternances climatiques quaternaires et leurs répercussions sur les modelés. Ajoutons que cet auteur rejette l'origine anthropique des savanes qui, selon lui, "subissent actuellement un recul devant une dynamique forestière transgressive", recul plus ou moins rapide et actif en liaison avec les stades d'érosion des sols.

Quelle que soit la pertinence de ces analyses, on retrouve un peu partout en zone humide et perhumide les mêmes questions concernant les savanes incluses en forêts : tout argument peut généralement être utilisé dans les deux sens. Il n'est pas facile de trancher et l'on peut au moins dire qu'il faut rester prudent en faisant intervenir le facteur sol, dont le déterminisme est loin d'être évident, comme nous l'avions signalé pour les savanes incluses du Gabon (COLLINET, 1976).



## DEUXIEME PARTIE

### LES SOLS

Le transect étudié recoupe les trois grands domaines pédologiques de l'Afrique de l'Ouest. Ceux-ci seront d'abord présentés pour justifier le choix des sites expérimentaux et resituer les dynamiques pédologiques (chapitre III) car il existe un écart assez considérable entre les dynamiques anciennes, à l'origine de la différenciation des épaisses formations altéritiques et celles, plus récentes, sinon actuelles, à l'origine de la formation des épipédons.

On résumera ensuite (Chapitre IV) les principales caractéristiques des sols représentatifs des sites expérimentaux, étant entendu que leurs descriptions et analyses complètes sont reportées en annexe.



### CHAPITRE III

#### IDENTIFICATION

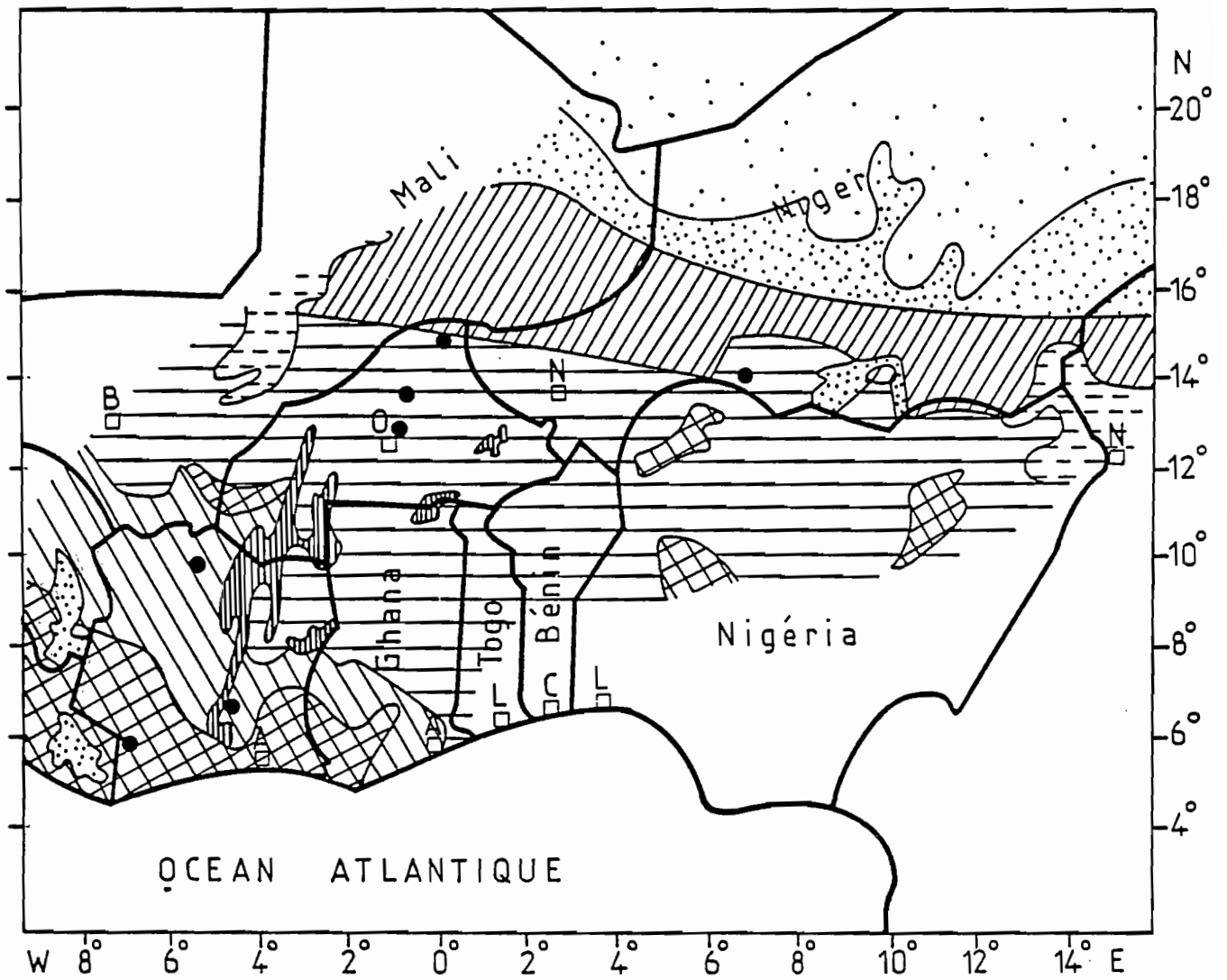
#### DES DOMAINES PEDOLOGIQUES DU TRANSECT

A petite échelle, et compte tenu des facteurs du milieu, la succession latitudinale des sols respecte une zonalité s'exprimant à un niveau taxonomique élevé de la classification morphogénétique des sols (CPCS 1967). Une concordance certaine avec les aires climatiques permet de supposer que le facteur "climat" présente, ou a présenté, la plus grande influence dans la zonalité des sols, et ce d'autant plus que cette zonalité paraît relativement indépendante de la nature des matériaux originels. Cette concordance des limites reste correcte dans les deux domaines extrêmes, sahéliens et guinéens, mais les choses se compliquent sensiblement dans le domaine soudanien médian où les interpénétrations des sols caractéristiques des domaines précédents sont nombreuses. Cet état de chose semble devoir être relié aux évolutions paléoclimatiques et à leurs héritages. On peut en effet supposer que, lors des alternances des phases humides et sèches du Quaternaire ancien, les zones situées actuellement entre l'équateur géographique et les 3 ou 4° N ont connu des climats relativement plus stables tandis que les zones sahéliennes et soudaniennes, telles qu'elles sont délimitées actuellement, ont pu être balayées par des oscillations de plus grande amplitude. Comme on sait, d'autre part, que les différenciations pédologiques procèdent rarement d'une évolution monotone et continue mais plutôt par à-coups traduisant des ruptures soudaines d'équilibre, on conçoit que les couvertures pédologiques des zones soudaniennes soient plus différenciées que celles des zones guinéennes.

A plus grandes échelles se surimposent les effets des autres facteurs, lithologiques, géomorphologiques, hydrologiques, etc. qui déphasent le sol par rapport à son évolution climacique et aboutissent à des différenciations azonales.

La figure II.1. présente une synthèse de nombreuses cartes pédologiques dressées par les pédologues ayant travaillé dans les différents pays où furent installés les sites expérimentaux : en simplifiant son contenu, on y retrouve quatre domaines dont trois concernent les secteurs étudiés :

- centre Niger (p.m.) : ensemble de sols minéraux bruts et peu évolués climatiques (régions peu accidentées) et d'érosion (massifs montagneux),



## LEGENDE

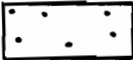



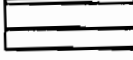
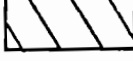

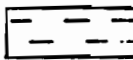
-  - Sols minéraux bruts
-  - Sols peu évolués
-  - Sols isohumiques (bruns sub-arides)
-  - Sols brunifiés (bruns eutrophes tropicaux)
-  - Sols ferrugineux tropicaux
-  - Sols ferrallitiques faiblement et moyennement désaturés
-  - Sols ferrallitiques fortement désaturés
-  - Sols halomorphes  
Sols hydromorphes

Fig. II.1.: Esquisse des domaines pédologiques du sud Niger, du Burkina Faso et de la Côte d'Ivoire.



- centre et sud Niger, à partir des 17° N à l'ouest et des 15° N à l'est, dans l'extrême nord du Burkina Faso : bande continue de sols isohumiques bruns sub-arides,

- quasi-totalité du Burkina-Faso, extrême sud Niger et nord-est de la Côte d'Ivoire : sols ferrugineux tropicaux,

- extrême sud-est du Burkina Faso et reste de la Côte d'Ivoire : domaine des sols ferrallitiques généralement moyennement désaturés au nord et fortement désaturés au sud d'un "V" aux branches largement ouvertes, centré sur la confluence du Nzi et du Bandama.

Le déterminisme de cette zonalité permet de dégager les principales caractéristiques des sols les plus fréquents, mais aussi leurs relations avec les sols azonaux ou déphasés.

### ***III.1. Le domaine des sols isohumiques bruns sub-arides (Niger et Burkina Faso)***

D'après GAVAUD (1977), les épipédons à faciès brun sub-aride peuvent se développer entre 350 et 750 mm. Plus au nord, ils sont détruits par érosions hydrique et éolienne et fournissent les sols peu évolués gris sub-désertiques à croûtes organiques. Au sud, ils passent aux sols ferrugineux tropicaux peu lessivés. Il semble que de 1964 (BOCQUIER et GAVAUD) à 1977, leurs limites méridionales et leur contact avec les sols ferrugineux aient été repoussés de 500 à 750 mm de pluviométrie, plus qu'un changement de définition de ces sols, il faut probablement voir dans cette "migration" une amélioration des connaissances consécutives à l'extension des zones prospectées.

Leurs principaux caractères se résument de la façon suivante :

- incorporation profonde de matière organique très évoluée, mais peu abondante et à répartition progressivement décroissante,

- individualisation sensible de sesquioxydes de fer, restant cependant liés à l'argile et migrant peu,

- argilification surtout bisiallitique,

- lessivage faible des cations du complexe absorbant mais précipitation diffuse possible de carbonates en profondeur.

Bien que la texture ne constitue pas un critère taxonomique très élevé, on constate pourtant qu'au Niger 80 % des sols isohumiques sont différenciés sur des matériaux sableux, le plus souvent sur des dépôts de sables éoliens. Dans d'autres cas, il pourrait s'agir de matériaux hérités de pédogénèses antérieures, et ayant subi les processus de séparation plasmique par ultradessiccation tels qu'ils furent étudiés au Sénégal par CHAUVEL (1976).

Les profils les plus fréquents sont ceux de sols brun-rouge sub-arides (A - (B) - C) définis par BOCQUIER et GAVAUD (1964) : "Sols minéraux dépourvus d'horizons lessivés non humifères, à horizon humifère supérieur brun ou faiblement coloré sur, au plus, 20 cm reposant sur un horizon de couleur

généralement rouge, souvent structural (B)". Cette bicoloration, et la profondeur de décoloration du rouge en brun, est un critère de diagnose entre les sols ferrugineux et isohumiques dans leurs zones limites. A part cette superposition de teintes (souvent 7,5 YR 5/5 sur 5 Y 5/6, selon le code MUNSELL), leur différenciation structurale est faible et la distinction des horizons fait appel à des nuances dans la porosité, la cohésion et le type de débit d'une structure généralement massive.

Le tableau XI présente quelques caractères analytiques de leurs pôles sableux et relativement plus argileux (Niger et Burkina Faso).

=====

**TABLEAU XI**  
Quelques caractéristiques analytiques de sols  
isohumiques brun-rouge sub-arides et bruns vertiques

Horizons		1	2	3
Mat. org. %	A	0,22	0,47	0,80
	(B)	0,14	--	0,40
	C	--	--	--
Arg. + Lf.	A	3,1	15,0	35,5
	(B)	3,9	12,1	38,4
	C	3,0	9,6	--
pH	A	6,7	7,8	6,5
	(B)	6,8	8,0	7,0
	C	7,0	7,7	--
Fe lib %	A	7,2	66,0	--
	(B)	8,6	53,2	--
	C	5,8	25,9	--
S meq 100 g	A	1,8	7,9	13,0
	(B)	1,8	6,5	21,0
	C	1,2	4,5	--
V %	A	90,0	sat.	sat.
	(B)	90,0	sat.	sat.
	C	90,0	sat.	sat.

#### Légende

Du pôle sableux au pôle argileux, ces exemples 1, 2 et 3 sont extraits des cartes pédologiques du Niger Central (BOCQUIER et GAVAUD, 1964) et de la carte Centre Nord de Haute Volta de BOULET (1968).

=====

A l'intérieur de ce domaine isohumique existent d'assez nombreux sols rélictuels d'une pédogénèse antérieure ainsi que des sols rajeunis et lithodépendants. La région de l'Ader Doutchi, dont la morphogénèse particulière a été évoquée précédemment, illustre assez bien ces particularités. Sur le

plateau du Continental Terminal se sont différenciés des sols anciens ferrugineux tropicaux peu lessivés sur sables éoliens et grès ferruginisés, tandis que les ravines des versants attaquent par endroit les marnes et calcaires Eocène et peuvent dès lors supporter des sols bruns calcaires et mêmes des rendzines. Des vertisols topolithomorphes occupent certaines vallées, en partie aval des plus grands bassins versants.

Au Burkina Faso, BOULET (1968) limite l'extension méridionale des sols bruns sub-arides aux 14° N, où ils peuvent s'associer avec des sols ferrugineux halomorphes et vertiques. Dans les sols isohumiques, il distingue les sous-groupes brun-rouge (comme au Niger), vertiques et bruns alcalisés.

Dans ce pays, les sols brun-rouges sub-arides restent toujours associés aux formations éoliennes plus ou moins anciennes : les distinctions morphologiques et analytiques sont surtout fondées sur l'ancienneté des ergs. Sur l'erg récent, au nord de Gorom Gorom par exemple, se situent les sols les moins différenciés et les plus sableux, dont les caractéristiques analytiques se rapprochent assez bien de l'exemple n° 1 du tableau XI. Sur l'erg ancien, par exemple au nord du cordon de dunes vives d'OURS, se trouvent des sols plus évolués, légèrement plus argileux, à structure massive, et dont les caractéristiques analytiques rappellent celles de l'exemple n° 2 du tableau XI. Les réserves hydriques seraient un peu meilleures pour le pôle plus argileux (70 mm) que pour le pôle sableux (20 mm), mais seule la moitié de cette eau est utilisable par les plantes (rappelons cependant que toutes ces teneurs sont obtenues par différences d'humidité correspondant aux limites de tensions matricielles pF 4,2 et 2,5 à 3,0).

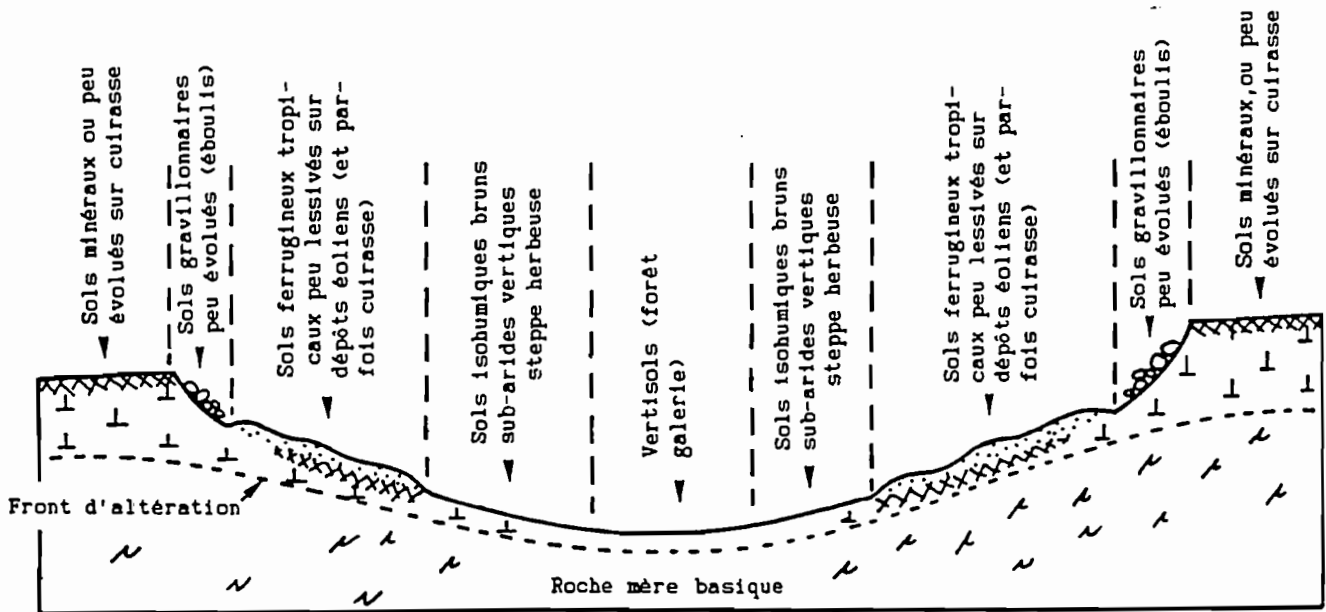


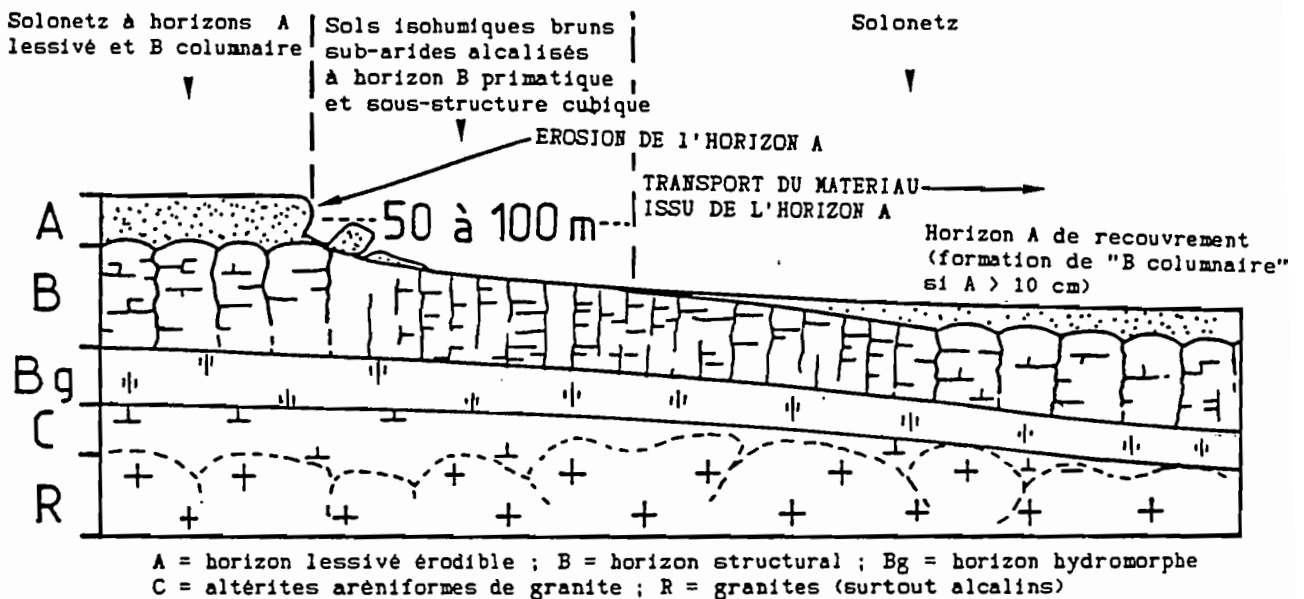
Fig. II.2.: Séquence théorique des sols dans le domaine isohumique du nord du Burkina Faso (BOULET, 1968).

Les sols brun-rouge sub-arides vertiques se trouvent sur le glacis de dénudation de roches-mères basiques. La figure II.2. illustre l'association

partant des reliquats de plateaux cuirassés jusqu'à une dépression occupée le plus souvent par des sols vertiques et des vertisols.

Les sols vertiques sont nettement plus argileux, possèdent une structure massive fissurée ou fragmentaire prismatique, certaines de leurs caractéristiques analytiques sont reprises sur le tableau XI (sol n° 3). Leurs réserves hydriques, importantes, atteignent 350 mm/m mais seulement 100 mm sont utilisables : ces conditions sembleraient nettement plus intéressantes que celles des deux sous-groupes précédents, elles sont également meilleures que celles des vertisols voisins où l'eau utilisable est encore plus faible.

Plus rares sont les sols du sous-groupe alcalisé que l'on repère dans les régions de granites alcalins, où ils s'associent aux sols halomorphes selon le schéma théorique de la figure II.3.



**Fig. II.3. :** Relations entre les sols halomorphes et les sols isohumiques alcalisés dans le nord du Burkina Faso (d'après BOULET, 1978).

Ces sols alcalisés se différencient à partir des horizons B de solonetz débarrassés de leurs horizons A sableux. Par rapport aux sous-groupes précédents, ces sols ont des structures plus affirmées mais aussi une cohésion plus forte et une porosité très basse ce qui se traduit par des ségrégations de teintes en profondeur.

Comme cela est le cas au Niger, les reliquats de surfaces anciennes supportent des sols ferrugineux tropicaux hérités de pédogénèses anciennes ou encore des sols érodés (minéraux ou peu évolués sur cuirasse ou gravillons).

Les altérites sous-jacents ne sont généralement pas caractéristiques du climat actuel, donc de la zone des sols bruns sub-arides, et les épais "manteaux" siallitiques ou bisiallitiques donnent une fausse idée de l'action actuelle des eaux météoriques qui n'imprègnent plus que quelques décimètres

de sol. On ne peut donc retenir, comme processus actuels, lorsque le front rocheux est atteint, qu'une arénisation par désagrégation ou desquamation des granites, une dissolution légère des ciments argileux de certains grès, des calcaires, ou une délapidification des pélites et argilites. Seuls les milieux confinés voient se réaliser une bisiallisation actuelle amenant la formation de vertisols topolithomorphes.

Les relations altérogénèses anciennes et morphogénèses actuelles seront reprises dans le domaine suivant, où elles imposent plus nettement les associations des sols.

### ***III.2. Le domaine des sols ferrugineux tropicaux (Niger, Burkina Faso, Côte d'Ivoire).***

Il serait possible, pour une plus grande clarté, de subdiviser ce domaine en deux ensembles :

- l'un dans le sud Niger et dans le nord du Burkina Faso où les associations, principalement différenciées sur les sables éoliens, sont dominées par les sols ferrugineux peu lessivés,

- l'autre, sur le reste du Burkina Faso où dominent le socle cristallin et ses altérites, et où l'extension des sols ferrugineux est liée à des évolutions toposéquentielles résultant elles-mêmes de troncatures paléomorphogénétiques.

Cette subdivision n'a pas été retenue car elle aurait abouti à donner la primeur aux différenciations azonales dans un domaine qui s'étend, en fait, depuis l'isohyète 400 mm jusqu'aux 1 200 ou 1 300 mm du nord-est ivoirien. Cette extension importante s'explique par une certaine ubiquité des processus de formation des sols ferrugineux tropicaux :

- l'hydrolyse intense, mais non pérenne, des minéraux primaires fournit, entr'autres éléments, des sesquioxides de fer et de manganèse, l'alumine restant par contre combinée. Dans la décomposition des roches, les phénomènes de désagrégation restent aussi importants que les altérations chimiques, et les altérites prennent un aspect aréniforme (contrairement à celles issues de la ferrallitisation),

- ce fer, individualisé, migre plus ou moins loin, verticalement ou latéralement : son accumulation peut donner toutes les formes intermédiaires entre une imprégnation diffuse et un concrétionnement ou un carapacement, l'évolution de cette immobilisation ferrugineuse allant dans le même sens que l'augmentation du drainage. C'est ainsi que les sols ferrugineux des zones les plus humides (1 200 à 1 400 mm) sont presque toujours concrétionnés alors que les sols ferrallitiques voisins ne le seront pas dans les mêmes conditions d'environnement,

- l'argilification résultant de l'altération aboutit à l'association : kaolinite + goethite + illite, car la silice n'est jamais suffisamment exportée; on ne trouve jamais ou presque jamais de gibbsite. L'argile peut également

migrer dans le profil, les migrations et accumulations de fer et d'argile sont d'ailleurs à l'origine de la distinction des groupes peu lessivés et lessivés,

• l'évolution de la matière organique est caractéristique de celle d'un climat chaud et contrasté et d'un apport de matières végétales surtout constituées de débris graminéens, la décomposition est importante mais s'effectue au dépens d'un stock restreint encore diminué par la pratique des brûlis, l'humification est faible mais aboutit à la synthèse de composés très polymérisés et donc stables.

Dans des conditions limitrophes de plus grande sécheresse, le drainage devient insuffisant pour la rubéfaction et la ségrégation des produits et l'on passe aux sols isohumiques brun-rouge sub-arides. Vers des conditions plus humides, les sols ferrugineux, cette fois ultralessivés, concrétionnés et hydromorphes, peuvent se maintenir jusqu'à 1 200 à 1 300 mm sur les roches les plus acides alors que sur les roches plus basiques, des conditions de meilleur drainage au niveau des marges d'altération permettent la ferrallitisation.

Cette différenciation subit de **nombreuses variantes** surtout sur le socle cristallin où intervient beaucoup un matériau originel, déphasé, constitué de grandes épaisseurs d'altérations kaoliniques dont on trouve les reliquats jusqu'au moins les 15° N (jusqu'à 70 m sous les cuirasses Pliocène !). Les différents schémas évolutifs ont surtout été développés dans cette région par BOULET (1968, 1976, 1978) ; GAVAUD (1977) ; LEPRUN (1968, 1978) et KALOGA (1968), leurs conclusions sont souvent concordantes et nous en rappellerons les grandes lignes.

Dans les régions cristallines, les cuirasses fossilisent d'épaisses altérites kaoliniques (les altérites sont plus minces sur les roches basiques). La disparition de la cuirasse amène une **troncature** plus ou moins importante de ces altérites, et deux cas de figures peuvent se présenter (BOULET, 1976, 1978) (figure II.4.).

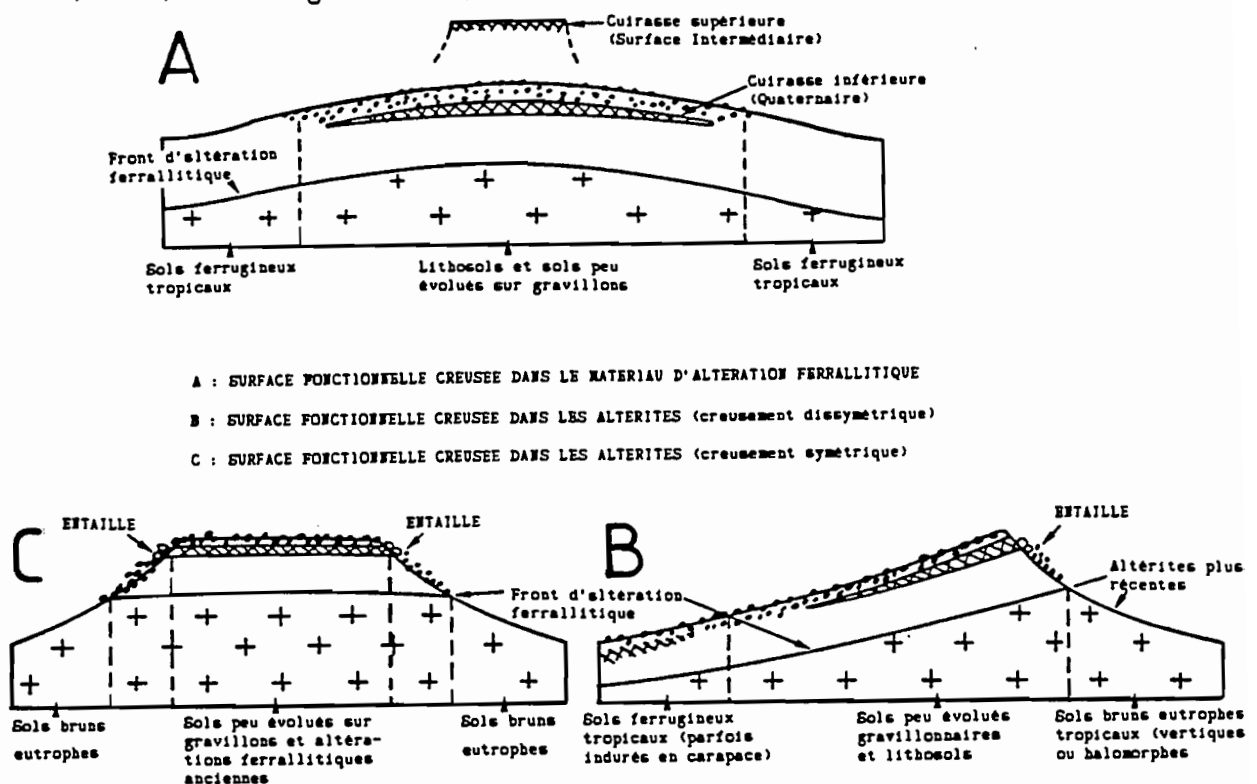


Fig. II.4.: Associations de sols liées aux profondeurs d'abrasion des altérites dans le domaine ferrugineux du Burkina Faso (BOULET, 1968, 1978).

- Sur une troncature faible, se différencient des sols gravillonnaires, puis des sols "ferrugineux à niveau gravillonnaire hérité, sur matériau d'altération ferrallitique" pour reprendre les termes de la classification utilisée dans les notices de cartes (fig. II 4A).

- Si la troncature est plus importante, ce qui se produit plus fréquemment en bas de versant, elle révèle des arènes riches en minéraux encore altérables et l'évolution ultérieure dépendra de la nature de la roche et surtout des conditions du **drainage** qu'imposent les types de matériaux subissant l'altération (fig. II 4B et C):

- des conditions de drainage normales pour la zone soudanienne, c'est-à-dire non excessive compte tenu des bilans hydriques, aboutissent directement à une altération montmorillonitique stable dans cette région,

- des conditions d'hyperdrainage, qui peuvent occasionnellement être réalisées si la partie amont comporte un impluvium concentrant les eaux météoriques et si les flux hydriques se déplacent facilement (arène de granite à gros grain p. ex.), entraînent la formation d'une couverture kaolinitique. Contrairement au cas précédent, celle-ci sera en déséquilibre avec les conditions climatiques actuelles et se transformera en un système éluvio - illuvial s'auto-transformant et donnant, en amont, un filtre quartzeux et, à l'aval, une accumulation de plasma évoluant en smectites.

Ces couvertures montmorillonitiques, du premier ou du deuxième type, sont stables en zone soudanienne jusqu'à 1 000 ou 1 300 mm de pluies selon les roches-mères. Au sud, elles deviennent instables et laissent la place aux kaolinites qui envahissent les unités de modelé et qui trouvent, quant à elles, leurs conditions de stabilité au-delà des 1 300 mm. Dans les zones plus sèches et à régime hydrique plus contrasté, elles migrent et se redistribuent sur les versants comme on vient de le voir.

Il ressort de ce schéma différents types d'associations de sols :

- les lithosols ou les sols peu évolués souvent gravillonnaires associés aux témoins cuirassés anciens des sommets ou des glacis cuirassés de versant,

- les sols sur matériaux d'altération kaolinitique anciens, il s'agit surtout de sols ferrugineux lessivés sur granites en position amont des glacis,

- plus bas, sur les versants et à l'aplomb des altérites peu évoluées, on trouvera toute une série de sols plus strictement lithodépendants où les évolutions vont vers deux pôles : vertique sur roches plutôt basiques et halomorphe sur les granites alcalins. Sols bruns eutrophes vertiques, vertisols, sols halomorphes constituent les jalons de ces associations sans oublier les sols hydromorphes des milieux les plus imperméables souvent représentés sur les schistes birrimiens.

Il convient d'ajouter les sols ferrugineux très lithodépendants, peu lessivés et peu différenciés sur les sables éoliens du sud Niger et du nord du Burkina Faso, ceci pour rappeler la remarque introductive.

**TABLEAU XII**  
Quelques caractéristiques analytiques  
de sols du domaine ferrugineux

		4	5	6	7	8
Arg. + Lf.	Surf.	10,2	35,0	33,0	13,0	22,0
%	Prof.	13,2	50,0	45,0	28,0	40,0
Mat. org.	Surf.	0,4	1,4	1,0	0,6	1,1
%	Prof.	0,2	-	-	0,2	-
C/N	Surf.	10	14	11	-	12
	Prof.	9	-	-	-	-
Fe lib.	Surf.	62,0	-	-	25,0	25,0
Σ	Prof.	59,0	-	-	31,0	50,0
S. meq.	Surf.	2,0	10,0	15,0	1,9	3,3
100 g sol	Prof.	1,9	17,0	28,0	3,5	5,4
V %	Surf.	83	85	95	41	60
	Prof.	70	sat.	sat.	56	80
pH	Surf.	6,2	-	-	5,4	-
	Prof.	6,0	-	-	5,4	-
Cap. Ret. (mm/m)		80	150 - 300	250 - 350	200	200 - 300
Eau utile (mm/m)		30	60 - 120	75 - 120	60	70 - 100

#### Légende

- Sol - n° 4 : ferrugineux tropical non ou peu lessivé sur sables de l'erg ancien  
 - n° 5 : brun eutrophe vertique sur matériau argileux issu de granite  
 - n° 6 : vertisol lithomorphe sur matériau argileux issu de granite à amphibole  
 - n° 7 : ferrugineux tropical peu lessivé, à drainage limité en profondeur et à carapace, sur altérite kaolinitique ancienne  
 - n° 8 : ferrugineux tropical lessivé, à taches et concrétions sur altérite kaolinitique ancienne (granite)

Les types d'associations de sols précédents sont mis en défaut dans les deux cas suivants .

• Lorsque les surfaces cuirassées dominent largement le paysage, comme c'est le cas au Niger dans la région de Dogon Doutchi ou au nord de Madaoua, dans la région centre Burkina Faso (plateau Mossi). On identifie alors des sols minéraux bruts ou peu évolués d'érosion sur cuirasse ou fragments de cuirasses (ceux-ci n'ont pu être distingués sur la carte de synthèse à cause du morcellement des unités)



- lorsqu'au-dessus de la plaine s'élèvent les collines schisteuses birrimiennes en chaînons étroits plus ou moins parallèles à des glacis cuirassés disséqués en buttes témoins. Les toposéquences se raccourcissent et les sols lithiques prédominent tandis que les sols meubles n'occupent que des espaces restreints en bas de versant. Ces complexes de sols "descendent" jusque dans l'est ivoirien, où ils marquent d'ailleurs la limite entre les sols ferrugineux et ferrallitiques.

### ***III.3. Le domaine des sols ferrallitiques (sud-ouest Burkina Faso et Côte d'Ivoire)***

Les sols ferrallitiques couvrent l'extrême sud-ouest du Burkina Faso et la plus grande partie de la Côte d'Ivoire en exceptant, comme on vient de le voir, la région nord-est qui appartient encore essentiellement au domaine ferrugineux. Cette répartition est en accord avec les limites climatiques communément admises puisqu'elle s'étend entre les isohyètes 1 200 et 2 500 mm (ils occupent donc une bonne partie de l'aire soudanienne à partir des 8° N).

Les principaux processus pédogénétiques de la ferrallitisation se résument de la façon suivante :

- Par rapport à l'altération ferrugineuse, l'hydrolyse des minéraux primaires devient quasi permanente et peut donc devenir totale. Elle attaque notamment les feldspaths, micas, ferromagnésiens... et ne laisse qu'un squelette quartzieux dont la granulométrie est le plus souvent supérieure à 20 microns. La muscovite peut résister plus longtemps, on en retrouve, par exemple, des quantités importantes dans les sols ferrallitiques jeunes sur pegmatites et il en va de même pour l'illite des argilites dont une partie est héritée.

- Les bases et une grande partie de la silice sont entraînées, fer et alumine s'accumulent surtout sous forme de goethite et de gibbsite, la vitesse d'élimination de la silice implique une allitisation ou une monosiallitisation cette dernière restant toujours possible en des endroits où l'hydromorphie l'emporte sur la simple hydratation. A cette action profonde proche de la lithomarge, se superpose une action plus superficielle dans le matériau pédoplasme. Cette pédogénèse superficielle est liée au drainage d'une eau chargée en composés humiques peu polymérisés, dont les fonctions acides restent agressives vis-à-vis des reliquats de minéraux primaires et parfois même de la kaolinite : la paragenèse classique kaolinite + goethite + gibbsite peut elle-même être modifiée selon l'âge du sol, la nature de la roche-mère et les conditions de drainage. C'est de ces conditions particulières dont découlent les notions d'équilibre ou de déséquilibre déjà évoquées. Certaines de ces variantes ont notamment été étudiées par LEPRUN (1977) dans les anciens altérites kaolinitiques sous cuirasse situés en zone actuellement sèche : cet auteur parle notamment "d'ultraferrallitisation" pour désigner la destruction des kaolinites et d'une "syncrystallisation" de fer et de l'alumine libérée dans des goethites alumineuses.

- La matière organique des sols ferrallitiques forestiers présente des propriétés qui méritent d'être soulignées : la décomposition de la matière végétale fraîche est toujours extrêmement rapide, minéralisation et humification étant saisonnièrement facilitées par la fragmentation et l'ingestion par la mésofaune du sol, la litière disparaît presque totalement en saison des pluies.

Les modalités de l'humification des sols ferrallitiques ont été analysées par A. PERRAUD et BOISSEZON (1971) et l'on retracera, ici, les grandes lignes de leurs conclusions.

Les données regroupées sur le tableau XIII montrent une humification plus importante vers les régions de savane où l'incorporation est aussi plus profonde et régulière. La synthèse y aboutit aussi à des composés plus stables et plus polymérisés qu'en forêt ce qui se répercute sur le complexe absorbant.

=====

**TABLEAU XIII**  
Caractéristiques des horizons humifères  
du domaine ferrallitique ivoirien  
(d'après A. PERRAUD, 1971)

	Forêt		Forêt		Savane	
	sempervirente		semi-décidue		préforestière	
Prof. (cm)	0/3	3/15	0/5	5/15	0/6	6/15
C. tot. %	17,0	8,0	26,0	11,0	33,0	17,0
M.O. %	2,9	1,4	4,5	1,9	5,7	2,9
ph	4,8	4,6	5,7	5,3	6,3	6,0
C/N	12 à 16		env. 10		env. 10	
AF/AH	1,6	2,8	1,3	1,7	1,0	1,0
AHgris/AHT	40	45	55	55	64	67
%						
S. meq.	1,8	0,6	7,5	2,6	14,0	16,0
100 g						
V %	27	15	70	40	88	66

=====

Si les remarques et caractéristiques précédentes correspondent surtout à la Côte d'Ivoire, les matériaux d'altération de type ferrallitique peuvent se retrouver beaucoup plus au nord pour peu qu'ils soient protégés par une cuirasse, ce qui implique une extension assez considérable du domaine ferrallitique. Cette situation est la conséquence des évolutions paléoclimatiques avec notamment, selon GAVAUD (1977), une importante phase biostasique de kaolinisation au Paléocène.

On constate cependant, actuellement, une situation assez paradoxale qui éclaire tant soit peu la transition entre domaine ferrugineux et ferrallitique : la Côte d'Ivoire qui présente, au moins dans sa partie guinéenne, des conditions d'équilibre pour ce manteau d'altération n'en possède que des épaisseurs extrêmement faibles alors qu'elles peuvent atteindre 50 à

70 m vers la zone sahélienne. Ce paradoxe n'est qu'apparent si, comme cela a déjà été suggéré précédemment, on admet une plus grande stabilité des paléoclimats humides dans les zones méridionales : ces phases humides plus durables auraient permis, et permettent encore une ablation insidieuse et continue de la couverture kaolinique qui sera exportée du paysage par un réseau de drainage particulièrement dense. Encore faut-il que cette érosion ne soit pas compensée par l'altération profonde : la prédominance de cette altération sur l'érosion pourrait se trouver réalisée en zone perhumide plus méridionale telle que l'extrême sud-ouest ivoirien ou les pénéplaines mollement ondulées et abondamment forestées du nord Gabon et du sud Cameroun. Ces dernières régions pourraient représenter un des orthotypes de milieu actuellement ferrallitisant, avec des profondeurs d'altération avoisinant celles qui, fossilisées ou à évolution déphasée, subsistent plus au nord.

Les sols ferrallitiques de Côte d'Ivoire ne sont qu'exceptionnellement "typiques", ce qui est d'ailleurs à l'origine des nombreuses adaptations locales de la classification CPCS, notamment en Côte d'Ivoire où les pédologues utilisent une terminologie particulière. Ainsi, le terme de "remaniement" est souvent employé, il désigne la présence quasi générale d'une nappe de gravats, (ou "stone-line") de quartz, de débris peu altérés, ou de nodules ferrugineux affleurant en sommet de forme et pouvant s'enfouir sous les matériaux meubles des versants. Sans prendre position pour l'une ou l'autre des nombreuses hypothèses proposées, il y a une vingtaine d'années, pour expliquer ce "remaniement" et rendre compte de l'actuelle distribution des matériaux, on notera que ce phénomène traduit, pour le moins, une importante ablation du manteau d'altération pédoplasme : dans la majorité des cas, ces nappes de gravats reposent directement sur des altérites présentant encore la structure géologique de la roche-mère (isaltérites).

Il est aussi souvent fait appel à la notion de "rajeunissement" pour traduire, cette fois, une troncature qui atteint les argiles tachetées ou les altérites suivie d'une nouvelle évolution des sols. Cette troncature se produit évidemment sur des pentes fortes mais aussi dans des régions à topographie plus calme. C'est ce que l'on constate, par exemple, dans les régions des plateaux du nord, en piémont de la corniche cuirassée, et ça et là sur les versants où se produit en outre une pectisation plus ou moins intense des argiles tachetées (sites de KORHOGO et de SAKASSOU).

Le processus de brunification des surfaces tronquées et fonctionnelles, qui était classique en domaine ferrugineux voltaïque, est rare dans le domaine ferrallitique ivoirien. Il ne se produit qu'occasionnellement, pour des troncatures plus profondes atteignant les altérites de roches basiques bien drainées, donc plutôt en modelé accidenté.

Enfin, l'"appauvrissement" en argile des épipédons est également retenu comme critère de définition d'unités de sols à un niveau taxonomique plus ou moins élevé.

L'ensemble de ces éléments fournit des informations intéressantes pour les utilisateurs mais ne peut pas figurer, sur les cartes à très petite échelle où il est retenu une subdivision en deux sous-classes :

- sols fortement désaturés en bases (S. inférieur à 1 meq./100 g de sol - V. inférieur à 20 % - ph. inf. à 5,5

- sols faiblement et moyennement désaturés en bases (S. de 1 à 5 meq./100 g de sol - V. de 20 à 70 % - ph de 4,5 à 6).

La limite entre ces deux sous-classes coïncide avec celle séparant le secteur guinéen ombrophile du secteur mésophile (GUILLAUMET, ADJANOHOVON - 1971). A l'intérieur de la sous-classe "moyennement désaturée", les sols "faiblement désaturés" représentent des situations azonales surtout liées à une lithodépendance sur schistes. De même, la saturation du complexe d'échange peut diminuer fortement sur les sommets des modelés peu accidentés où se trouvent les sols les plus évolués et les moins tronqués).

On retiendra, sous forme de schémas, quelques exemples de différenciations influencées surtout par le climat et la roche-mère. Ces exemples sont extraits des travaux de PERRAUD (1971) ; ESCHENBRENNER, BADARELLO (1978) ; COLLINET (1974), BEAUDOU, SAYOL (1980) ; LEVEQUE (1980) ; POSS (1981). Leur localisation et quelques-unes de leurs caractéristiques analytiques sont regroupées sur les figures II.5 à II.9. et les tableaux XIV et XVIII qui leur sont associés.

a) Association sur sables tertiaires du bassin sédimentaire côtier de Côte d'Ivoire (région d'Abidjan)

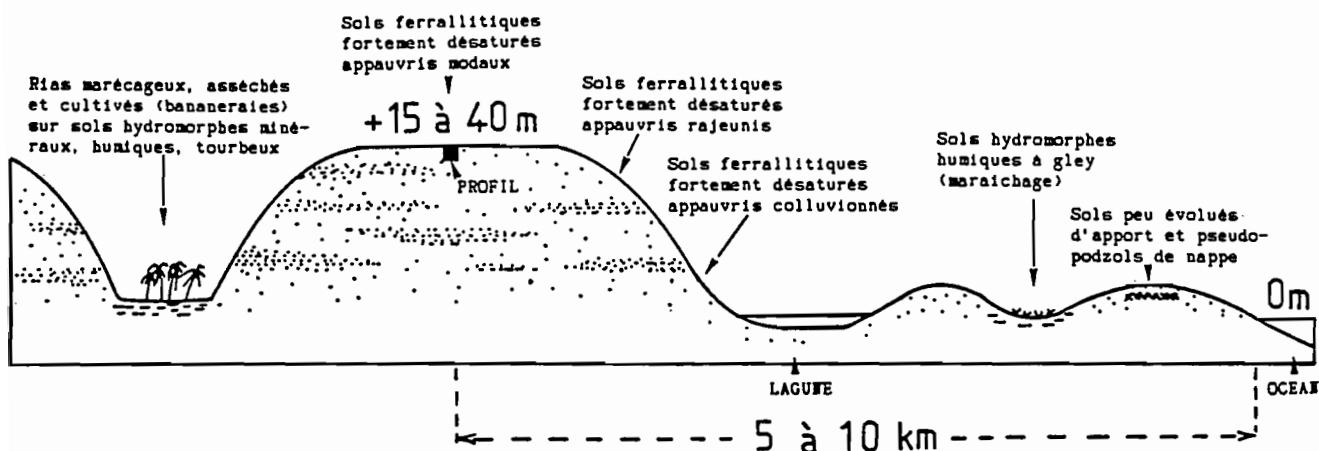


Fig. II.5.: Association de sols sur "Sables tertiaires" du bassin sédimentaire côtier de "Basse Côte d'Ivoire" (Adiopodoumé).

TABLERAU XIV

Profil fig. II.5.	Hor.	Arg. %	M.O. %	Fe tot. %	S meq. 100 g	V %	pH	$\frac{SiO_2}{Al_2O_3}$
1	A	9,7	1,7	-	0,6	13	4,3	-
	B	22,3	-	4,6	0,4	11	4,9	1,8
	C	-	-	7,8	0,4	8	4,0	1,9

Légende

1 : Sol ferrallitique fortement désaturé, appauvri modal sur sables tertiaires du bassin sédimentaire côtier (forêt ombrophile sempervirente, sommet de forme)

b) Association de sols sur granites migmatitiques de la région des collines du sud-ouest ivoirien (forêt ombrophile sempervirente, colline surbaissée, tendance convexo-concave, représentatifs des sites de TAY)

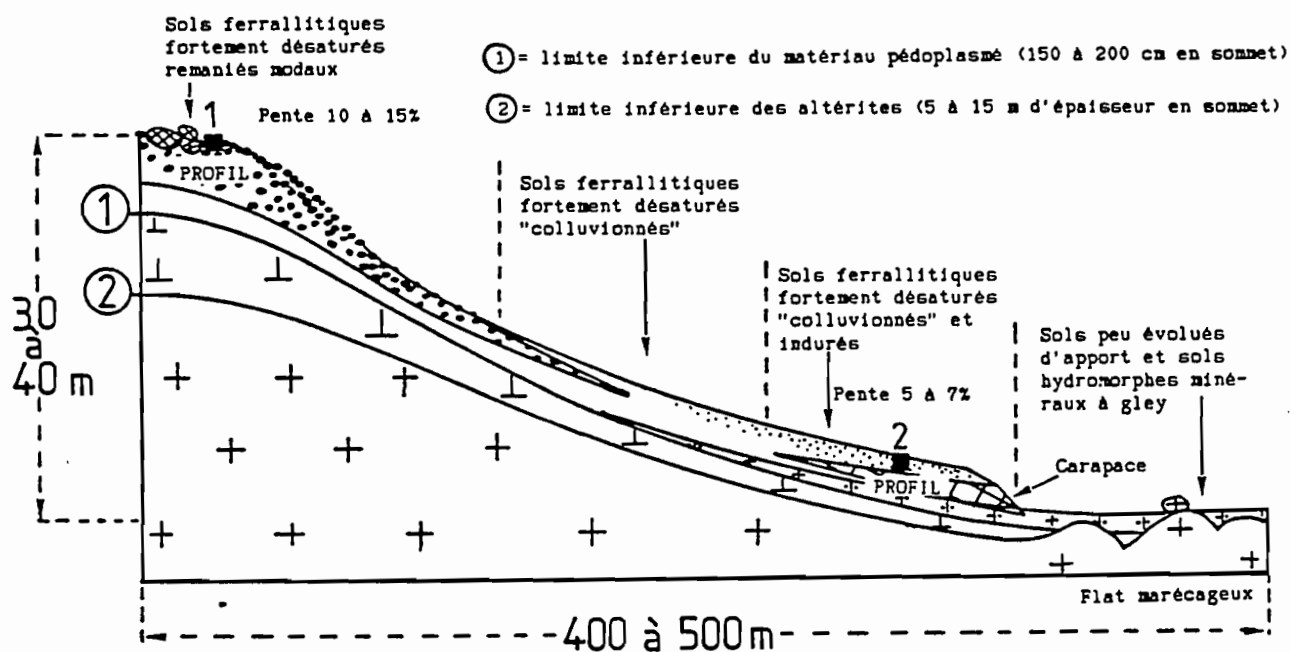


Fig. II.6.: Association de sols sur granite dans la région des "collines du sud-ouest" de la Côte d'Ivoire (Tay).

TABLEAU XV

Profil fig. II.6.	Hor.	Arg. %	M.O. %	Fe tot. %	S meq. 100 G	V %	pH	SiO <sub>2</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
1	A	29,8	5,7	7,1	0,3	5	4,6	-
	B	60,2	-	13,4	0,1	3	4,8	1,8
	C	30,7	-	10,9	0,1	5	5,0	1,4
2	A	21,0	2,4	1,9	0,3	7	4,1	-
	B	41,0	-	4,3	0,4	10	4,5	2,2
	C	26,4	-	6,7	0,1	2	4,6	1,9

**Légende**

- 1 : Sol ferrallitique fortement désaturé, remanié modal en sommet de colline à affleurements gravillonnaires et rares fragments de cuirasses,  
 2 : Sol ferrallitique fortement désaturé, colluvionné induré en bas de versant rectiligne à concave, pente de 5 à 7 %, carapace ferrugineuse à 100 ou 150 cm.

c) Association de sols sur schistes arkosiques dans la région des collines du centre-sud ivoirien (sud Tiassalé, forêt ombrophile)

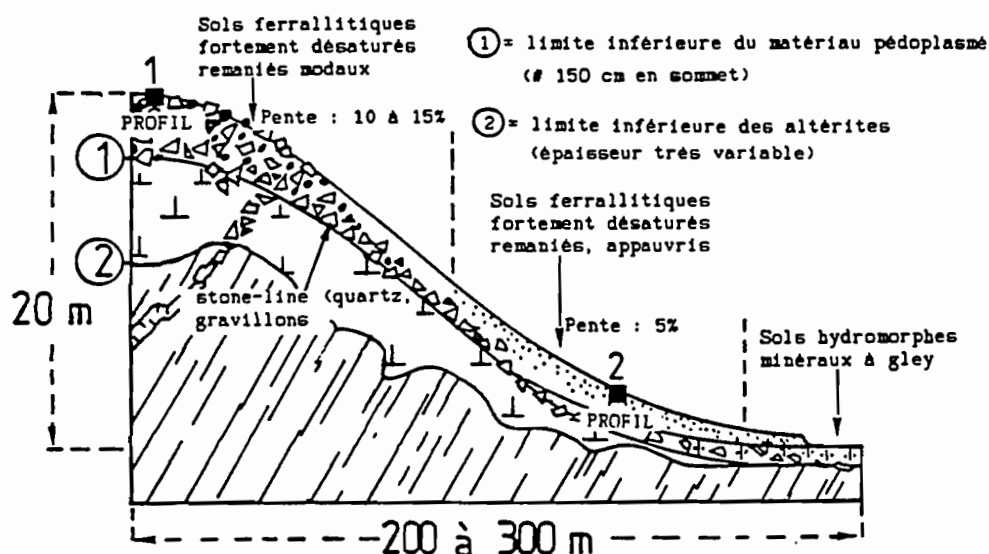


Fig. II.7.: Association de sols sur schiste dans la région du "Centre-sud" de la Côte d'Ivoire (Tiassalé).

TABEAU XVI

Profil fig. II.7.	Hor.	Arg. %	M.O. %	Fe tot %	S meq 100 g	V %	pH	SiO <sub>2</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
1	A	13,7	3,3	2,0	0,9	13	4,6	-
	B	42,8	-	12,0	0,3	5	5,4	1,6
	C	-	-	-	-	-	-	1,8
2	A	9,3	1,8	1,5	0,5	8	4,5	1,9
	B	38,6	-	4,1	0,2	6	5,0	1,9
	C	40,9	-	10,0	0,2	6	5,3	-

**Légende**

- 1 : sol ferrallitique fortement désaturé, remanié modal - sommet de colline convexo-concave à affleurements épars de cailloux de quartz et gravillons ferrugineux
- 2 : sol ferrallitique fortement désaturé, colluvionné et appauvri, faciès hydromorphe - bas de versant concave, pente de 4 %, hydromorphie vers 120 cm.

d) Association de sols sur roches cristallines acides dans la région des plateaux du nord (Odienné, Boundiali, Korhogo, représentatifs des sites de KORHOGO)

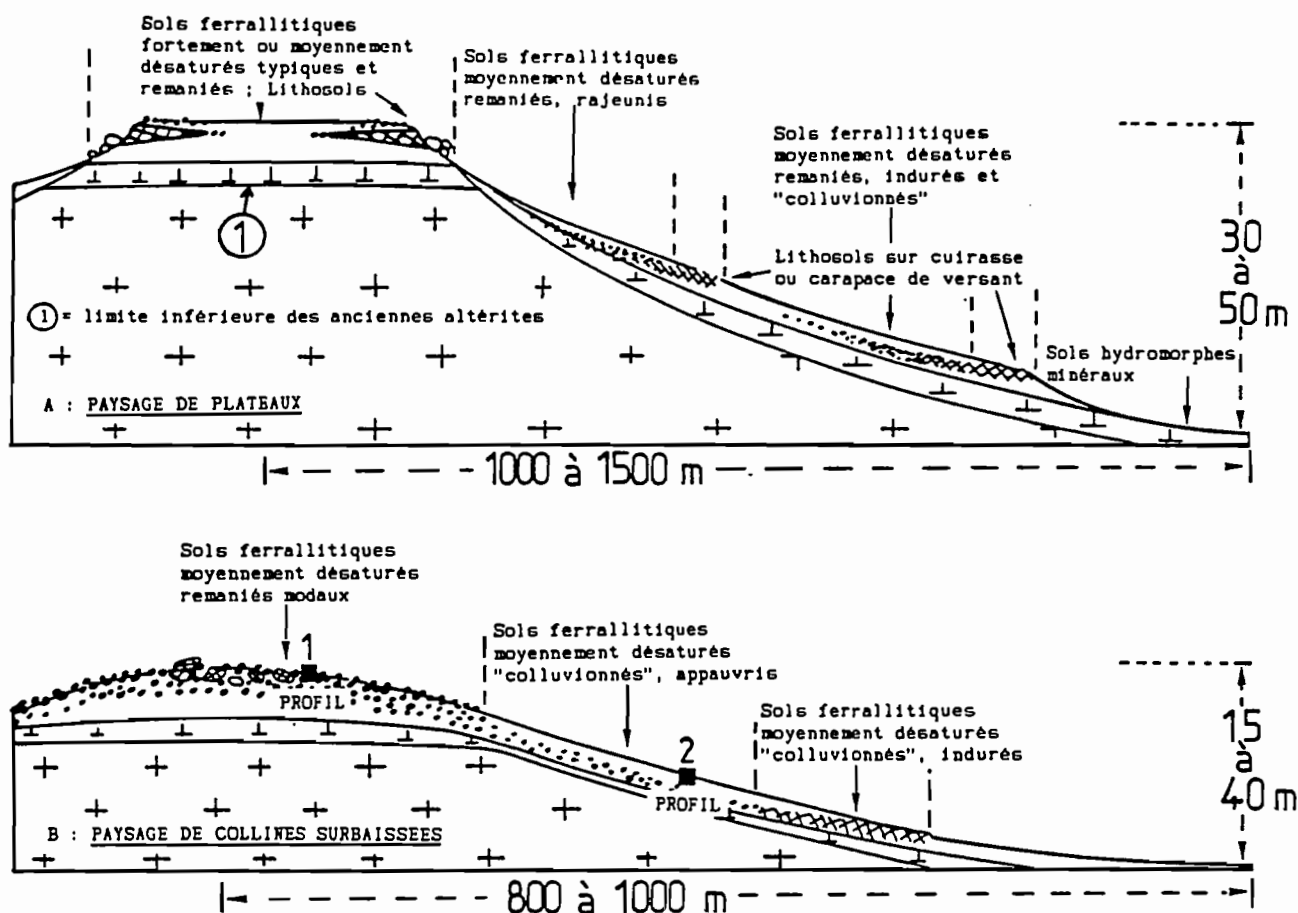


Fig. 11.8.: Association de sols sur roche cristalline acide dans la région des "plateaux du nord" de la Côte d'Ivoire (Boundiali, Odiénné, Korhogo).

TABLEAU XVII

Profil fig. 11.8.	Hor.	Arg. %	M.O. %	Fe tot %	S meq 100 g	V %	pH	$\frac{SiO_2}{Al_2O_3}$
1	A	21,6	3,9	3,0	9,5	80	6,4	2,0
	B	46,7	-	5,7	0,7	12	6,2	1,8
	C	34,7	-	7,3	0,6	12	5,7	2,0
2	A	14,1	2,5	1,7	6,7	81	6,4	2,3
	B	36,5	-	3,2	3,4	60	6,0	2,1
	C	29,3	-	5,7	1,3	35	6,5	2,0

**Légende**

- 1 : Sol ferrallitique moyennement désaturé (parfois fortement désaturé), remanié modal - sommet de colline plan convexe, affleurements gravillonnaires généralisés, quelques blocs de cuirasse, savane subsoudanienne arborée
- 2 : Sol ferrallitique moyennement désaturé, remanié colluvionné et appauvri, occasionnellement carapacé - bas de versant rectiligne, pente de 2 à 4 %, savane subsoudanienne arbustive

e) Association de sols sur chloritoschistes dans la région des plateaux du nord (Odienné, Boundiali, Korbogo)

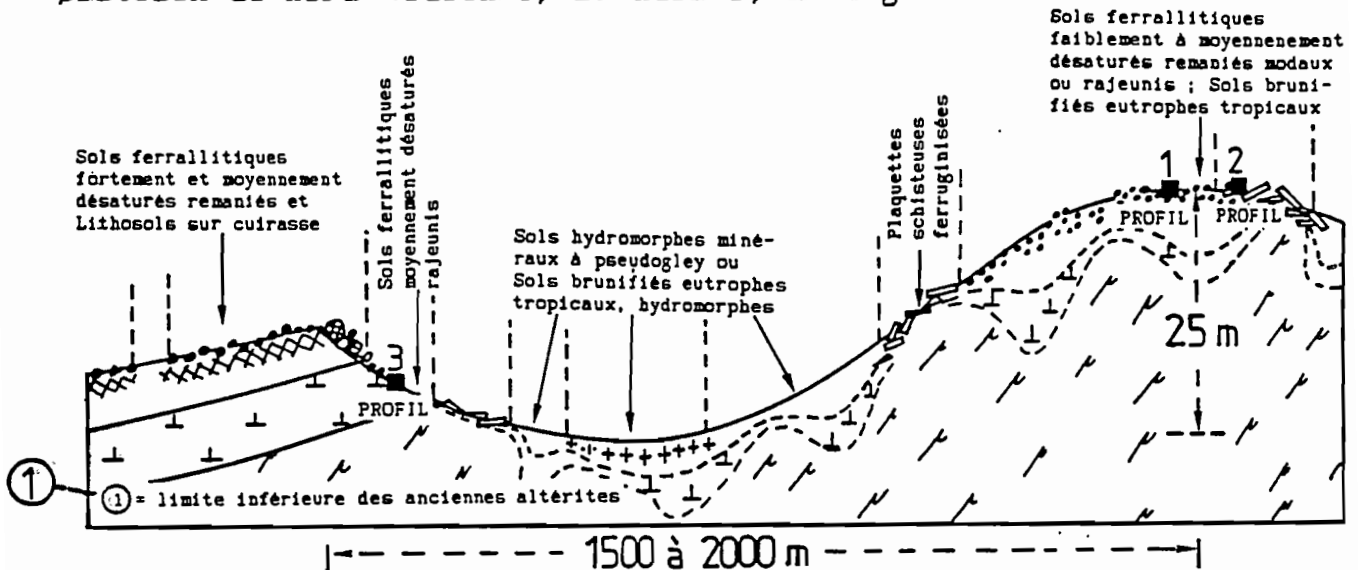


Fig. II.9.: Association de sols sur roche basique dans la région des "plateaux du nord" de la Côte d'Ivoire (Boundiali).

TABEAU XVIII

Profil fig. II.9.	Hor.	Arg. %	M.O. %	Fe tot. %	S meq 100 g	V %	pH	SiO <sub>2</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
1	A	20,6	2,7	6,9	7,1	71	6,6	1,9
	B	52,6	-	16,0	3,2	41	6,3	1,8
	C	-	-	-	-	-	-	-
2	A	11,7	1,7	5,2	2,7	49	6,2	2,0
	B	41,7	-	12,9	3,7	60	6,2	2,0
	C	-	-	-	-	-	-	-
3	A	17,4	2,8	3,6	4,1	49	5,8	2,1
	B	35,2	-	6,7	3,0	53	6,0	2,1
	C	31,9	-	10,7	4,1	62	5,9	2,2

Légende

- 1 : Sol ferrallitique moyennement désaturé (parfois faiblement désaturé), remanié modal - sommet de colline convexo-concave, nappe gravillonnaire assez peu dense, savane subsoudanienne arbustive,
- 2 : Sol ferrallitique moyennement désaturé (parfois faiblement désaturé) remanié, rajeuni - même site,
- 3 : Sol ferrallitique moyennement désaturé, rajeuni modal - sous un rebord de plateau cuirassé dominant une dépression périphérique ceinturant la colline de chloritoschiste.

Un rajeunissement plus intense se traduit par l'apparition de sols bruns eutrophes tropicaux, juxtaposés à des sols peu évolués d'érosion sur altérites de schistes. Texture, structure, teneur en fer et type d'argile dépendront alors de la nature exacte de la roche-mère, le pôle le plus argileux et siallitique étant caractéristique des amphiboloschistes.



## CHAPITRE IV

### CARACTERISATION DES SOLS DES DIFFERENTS MILIEUX EXPERIMENTAUX

L'étude des sols supportant les différents sites expérimentaux passe par une description morphologique et par le commentaire des principaux résultats analytiques dont le détail est reporté en annexe. Cette présentation, effectuée selon les seules sources d'information descriptives et analytiques, permet quelques prévisions de comportements qui n'anticiperont cependant pas sur le volet expérimental des quatrième et cinquième parties.

#### *IV.1. Les sols des sites expérimentaux du bassin versant de GALMI - domaine isohumique du sud-Niger - 13°57' N et 05°42' E.*

Une assez bonne idée de la représentativité des sites expérimentaux retenus peut se dégager de la carte topographique à 1/50 000 de l'IGN (figure II.10.) et du bloc diagramme de la figure II.11. Ce dernier reprend, de façon théorique, les subdivisions morphologiques présentées précédemment :

- site GALMI 1, sur le plateau du Continental Terminal (segment 1),
- sites GALMI 2 et 3, sur une portion de versant, l'un sur marnes et calcaires éocènes, l'autre sur les placages sableux éoliens (segment 4),
- site GALMI 4, en fond de vallée sur colluvions et alluvions (segment 5).

##### *IV.1.1. Caractères morphologiques*

Les parcelles de GALMI 1 furent installées au centre du plateau abondamment cultivé en mil sur billons. Ça et là, subsistent des jachères anciennes ou des zones non cultivées. Les pentes oscillent entre 0,5 et 1,6 %. Le matériau originel est probablement constitué d'un mélange de sables éoliens anciens et de sables argileux provenant de la désagrégation de grès ferruginisés.

Le sol meuble est peu épais (0,4 à 1,0 m), rouge jaunâtre, sableux fin puis sablo-argileux vers 25 cm. La structure est essentiellement massive sauf quelques zones où une tendance grenue se manifeste qui semble correspondre à un reliquat d'activité de la mésofaune. Cailloux et blocs de grès

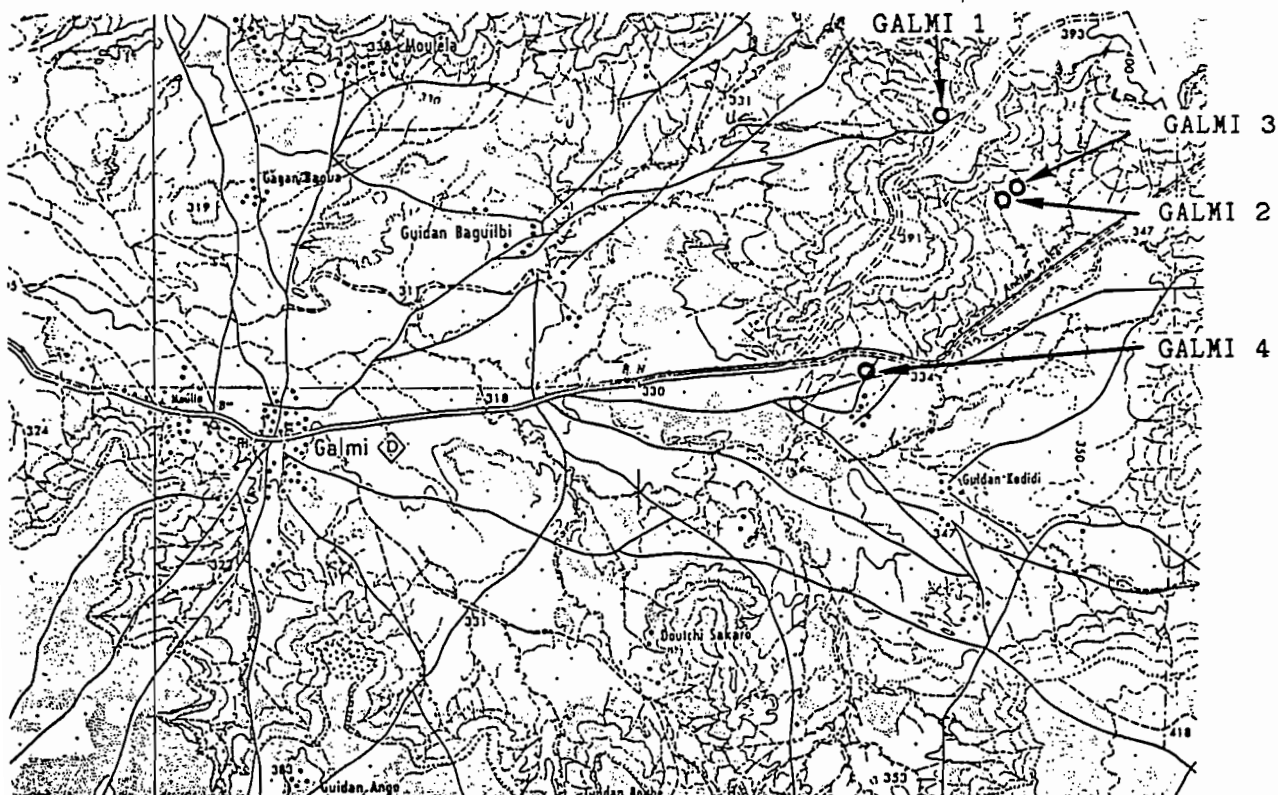


Fig. II.10.: Localisation des sites expérimentaux de GALMI  
(sur IGN. ND.31, XII, 4c ; Niger).

0 2 km

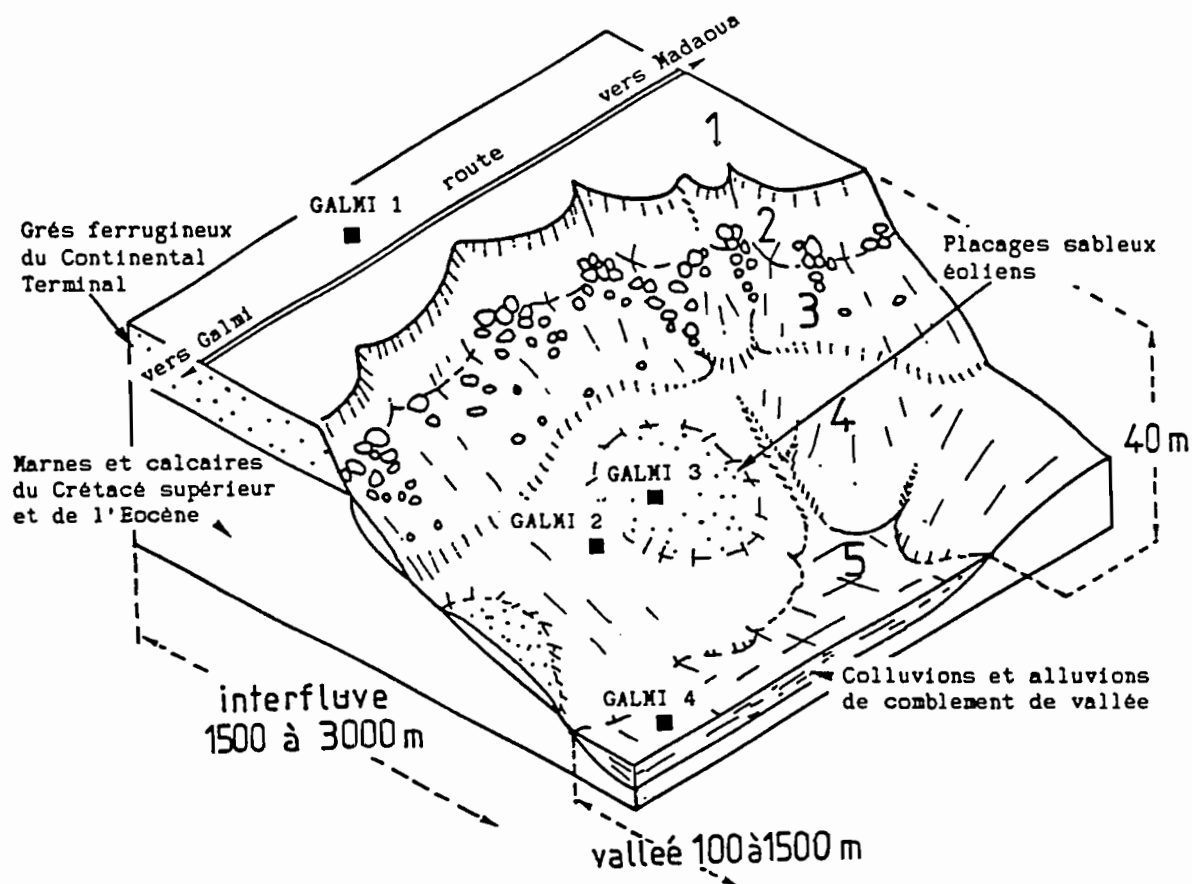


Fig. II.11.: Disposition des sites GALMI 1, 2, 3 et 4 sur la géoséquence.

apparaissent entre 40 et 70 cm, la dalle en place n'a pas été trouvée sur le profil mais constitue la corniche à quelques centaines de mètres. Ce profil serait donc très peu différencié, si l'on omettait de décrire les modifications structurales de l'extrême surface du sol représentées sur la figure II.17. en annexe : cette figure correspond aux **surfaces dénudées** des anciennes jachères où la porosité superficielle est colmatée, et aux **ensablements** des zones de culture de l'année.

Sur le versant, au-delà de la corniche et du talus d'éboulis généralement non cultivés, on retrouve des champs de mil sur des pentes plus modestes oscillant entre 2,5 et 4 %. Sur ce segment, deux types de sols voisinent : ceux formés sur les altérations de marnes et calcaires Eocène (GALMI 2) et ceux des placages sableux éoliens ayant jadis envahi certaines portions des versants (GALMI 3). Le site GALMI 2 correspond à un sol brun foncé puis rougeâtre vers 40 cm. Sablo-argileux sur 10 cm, il devient argilo-sableux au-delà. Son principal critère de différenciation est une structuration qui est massive fissurée dans les horizons rouges alors qu'elle se débite en sous-structures polyédriques de plus en plus fines vers la surface. Sa seule porosité résulte de ces retraits par dessiccation. Les pellicules de surfaces, développées sur 2 à 3 cm, sont principalement constituées d'une alternance de lits sableux et argilo-limoneux horizontaux (cf. figure II.18. en annexe).

Le site GALMI 3 est caractérisé par un sol rouge jaunâtre, passant à brun vers 20 cm puis tacheté de jaune clair en profondeur. Sa texture est sableuse fine avec cependant une discrète accumulation sablo-argileuse vers la première transition de teinte. La structure est surtout massive avec une tendance fragmentaire en surface. La porosité tubulaire fine est faible et la cohésion est exceptionnellement forte en saison sèche. Il s'agit donc d'un sol peu différencié, cohérent, où la principale particularité est un défaut de drainage vers 50 cm (actuel ou ancien ?). On note aussi la quasi-absence de racines au-delà des 25 cm, ce qui annoncerait une dynamique actuelle des plus superficielles. Les organisations de surface montrent un développement plus important que pour GALMI 2 des lits sableux par rapport aux lits argilo-limoneux (cf. figure II.19. en annexe).

Le sol de GALMI 4, qui occupe le fond de la vallée, est assez bien délimité par une rupture de pente nette entre le bas de versant et la vallée et par un changement radical du matériau originel : c'est une argile limono-sableuse assez homogène près du versant, où prédominent les colluvionnements, tandis que les interstratifications fines et grossières deviennent plus nombreuses dans l'axe de la vallée (alluvionnements). Le coton, jadis abondamment cultivé sur ces sols, est maintenant remplacé par des cultures de mil et de sorgho. Le sol est homogène, brun, argilo-limono-sableux en surface puis plus argileux en profondeur. Son principal critère de différenciation est une importante modification structurale : la structure est massive, fissurée en profondeur, et, contrairement aux sols argileux des versants, il apparaît, à partir de ces fissures, une fragmentation plus nette en lames obliques striées annonçant une évolution verticale. Au-dessus de 30 cm, la fragmentation en polyèdres et grumeaux se généralise ; la porosité interagrégat devient importante mais il s'y adjoint aussi une porosité tubulaire moyenne, témoin de l'activité de la faune en saison humide. L'enracinement atteint 45 à 50 cm traduisant une dynamique moins superficielle que dans les cas précédents. On note également des pseudo-mycélium carbonatés jusqu'à 70 cm.

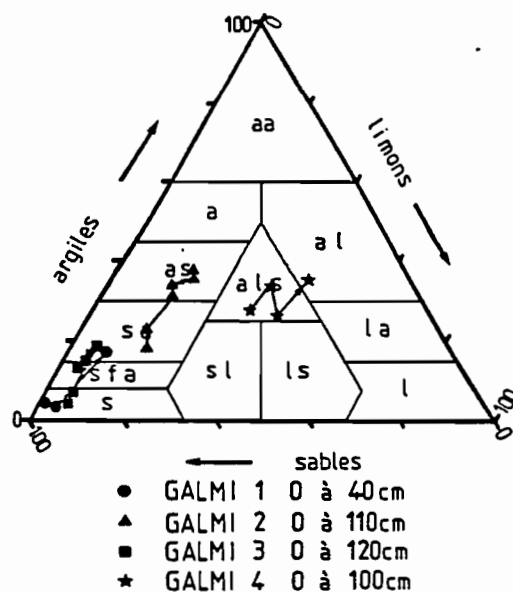


Fig. II.12.: GALMI : diagramme des textures.

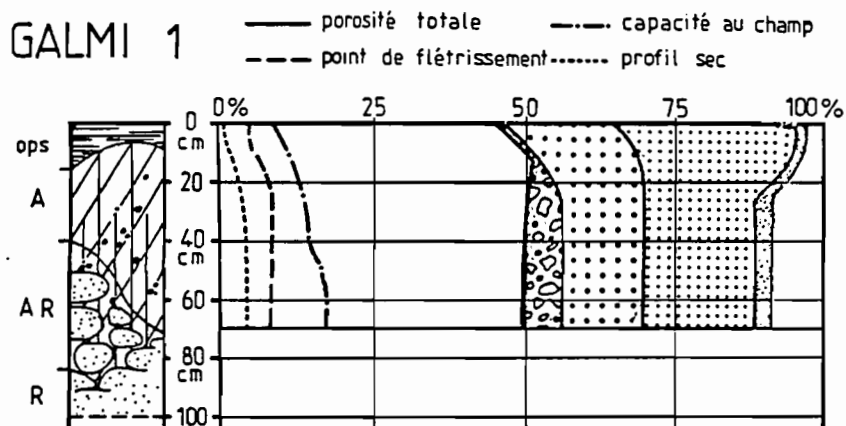


Fig. II.13.: GALMI 1 : profil pédologique et composition volumique.

## Légende (pour toutes descriptions)

	: matière organ.		: carbonates
	: argile		: roche mère
	: hydromorphie		: roche mère
	: ultralessivage		: Fraction grossière (> 2 mm)
	: gravillons Fe		: Sables grossiers
	: quartz		: Sables fins
	: induration		: Limons fins et grossiers
	: altérites		: Argiles granulométriques

La surface du sol est occupée par 3 à 5 cm d'interstratifications de lames argilo-limoneuses rebroussées en copeaux de dessiccation et de granules de même texture. L'ensemble pourrait provenir de la "fonte" des unités structurales sous-jacentes comme le laisserait supposer le contact de ces organisations avec les unités structurales du dessous (cf. figure II.20. en annexe).

#### *IV.1.2. Caractéristiques analytiques*

##### **a) Granulométrie**

Le triangle textural (figure II.12.) et les différents profils des compositions volumiques (figures II.13. à 16.) mettent en évidence trois familles texturales :

- L'ensemble GALMI 1 et 3 regroupe des sols sur matériaux éoliens anciens mais où les éolisations actuelles amènent une accumulation relative de sables fins en surface. On note aussi, sur GALMI 3 un discret lessivage et une accumulation argileuse vers 20 cm.

- GALMI 2 présente sur 10 cm un appauvrissement en argile, puis son taux devient ensuite à peu près constant. Une contamination éolienne récente est perceptible jusqu'à 50 cm, mais ces variations minimales n'oblitérent pas l'influence prépondérante de la roche-mère.

- GALMI 4 est surtout caractérisé par l'abondance des limons, les variations de texture en "dents de scies" traduisent les hétérogénéités introduites par les contaminations alluviales occasionnelles, mais la finesse du matériau prouve que cette zone, éloignée des actuelles divagations du cours d'eau, est plus rarement inondée.

##### **b) Paramètres hydrodynamiques**

Les profils volumiques permettent d'établir une partition entre solides et fluides. Cette séparation correspond à la **porosité totale** qui, dans le cas présent, varie assez peu de part et d'autre de 50 %. Plus intéressante est la subdivision entre micro- et macroporosité, car elle implique une différence d'état entre l'eau retenue par tension capillaire et l'eau libre, ou saturante, pouvant circuler en période de drainage dans des volumes occupés par l'air dans le sol ressuyé.

Cette différence d'état de l'eau est représentée par l'**humidité volumique à la capacité au champ**, très variable d'un sol à l'autre pour des raisons déjà évoquées précédemment. En deçà de cette valeur, l'**humidité volumique au point de flétrissement permanent** des végétaux marque la limite supérieure des circulations très lentes d'une eau soumise à une gamme de tensions telles que ses mouvements se font surtout en phase vapeur. Ces deux limites, capacité au champ et point de flétrissement, encadrent le domaine de l'eau utile "suspendue" ou "soutenue" (nappe) dont les intensités de flux sont

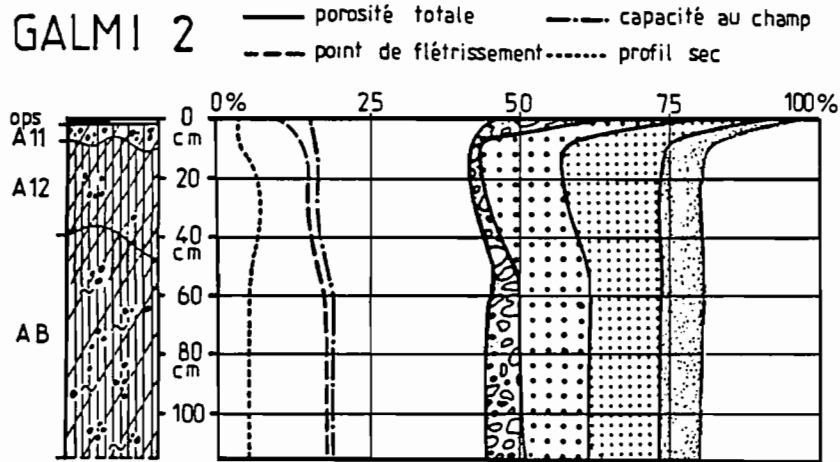


Fig. II.14.: GALMI 2 : profil pédologique et composition volumique.

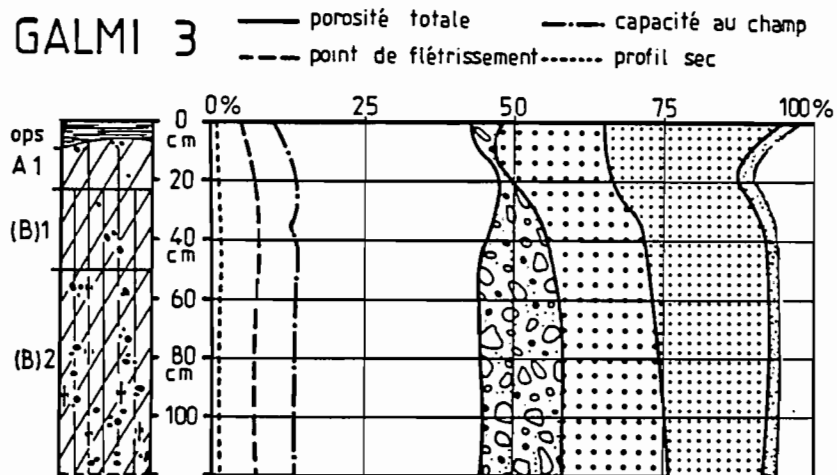


Fig. II.15.: GALMI 3 : profil pédologique et composition volumique.

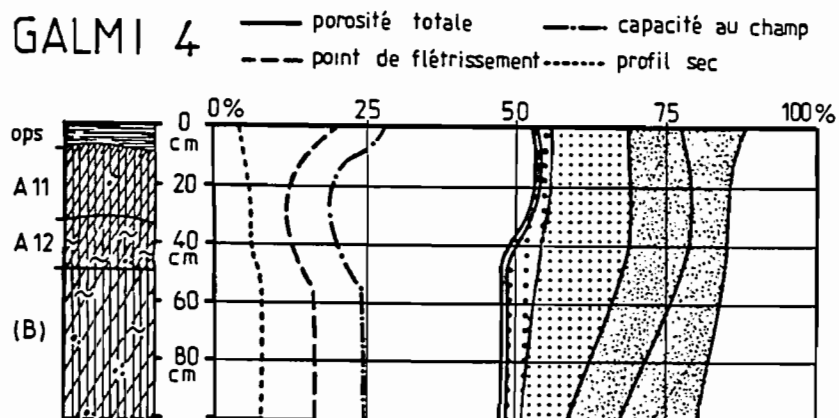


Fig. II.16.: GALMI 4 : profil pédologique et composition volumique.

commandées par des différences de potentiels de moins en moins gravitaires et de plus en plus matriciels au fur et à mesure que le sol se dessèche.

Considérées intrinsèquement, ces différentes limites permettent d'apprécier les formes de **stockage** des différents profils considérés. Deux restrictions fondamentales doivent cependant être faites: l'une est introduite par les **états structuraux de l'extrême surface du sol** qui contrôle à un niveau élevé la conductivité hydraulique de la totalité du profil, et l'autre concerne la possibilité d'une **dynamique structurale profonde susceptible de modifier les volumes poreux** et peu perçue lors de nos essais.

Le tableau XIX résume ces répartitions volumiques sur les 50 premiers centimètres, tranche de sol essentiellement concernée par la dynamique interannuelle en zone tropicale sèche.

TABLEAU XIX

GALMI : capacités hydriques de la tranche 0 à 50 cm (en mm d'eau)

SOLS	Poro. tot.	Macro. poro.	Micro. poro.	Point flétr.	eau ut.	Profil sec
	1	2	3	4	5	6
GALMI 1	250	186	64	37	27	15
GALMI 2	219	136	83	73	10	28
GALMI 3	230	163	67	34	33	2
GALMI 4	256	150	106	68	38	26

Les caractéristiques hydrodynamiques déduites de l'examen du tableau précédent et des évolutions volumiques apparaissant sur les figures II.13. à 16. permettent une série de commentaires.

- Mauvaise situation hydrique pour GALMI 2, où la réserve d'eau utilisable par les végétaux est extrêmement "pincée" entre des teneurs volumiques élevées au point de flétrissement et faibles à la capacité au champ. Il s'y ajoute une macroporosité plus faible que pour les autres sites et celle-ci est, de plus, légèrement étranglée vers 10 cm à cause d'une augmentation sensible du taux d'argile et de limons fins.

- Théoriquement la situation semblerait meilleure pour GALMI 4, surtout grâce à une teneur volumique plus élevée à la capacité au champ, Mais cette interprétation doit être tempérée par une possible dynamique saisonnière de la structure de ce sol à tendances verticales et présentant, en saison sèche, un important volume poral surtout dû aux vides interagrégats. Il en résulte une porosité surtout fine en saison humide, à condition que le front d'humectation puisse descendre suffisamment bas,

- En fait, et pour ne considérer que les caractéristiques hydrodynamiques, les situations des sols différenciés sur les sables éoliens sont voisines et sembleraient les plus intéressantes avec une capacité pour les réserves utilisables, certes modeste, mais moins sujette aux variations saisonnières à cause d'une relative inertie des structures. La préférence

pourrait même aller aux sols du plateau GALMI 1, si l'on fait l'hypothèse d'une dalle gréseuse peu fissurée et pouvant constituer le plancher d'une nappe temporaire en saison des pluies assurant une alimentation plus continue et plus durable, par remontée capillaire de l'eau soutenue dans des sols peu épais.

On constate enfin (colonne n° 6 du tableau XIX = profil sec) des stocks hydriques, en milieu de saison sèche, bien en deçà des teneurs au point de flétrissement. Cette ultradessiccation est particulièrement nette sur les sols sableux du versant GALMI 3, dont l'extrême cohésion et la très faible porosité visible expliqueraient l'exigüité du profil racinaire et des manifestations d'hydromorphie.

### c) Stabilité de la structure

Elle fut appréciée par une série de tests de laboratoire selon la méthode de HENIN et MONNIER (1956) visant à reproduire certains processus de dégradation des structures sous l'effet de l'eau. Elle concerne deux mécanismes: **éclatement**, sous l'effet de la compression de l'air dans les capillaires d'un agrégat en voie d'humectation, et **dispersion** des ciments, précédée du **gonflement** de l'agrégat par hydratation. La vérification de ces deux hypothèses amène l'utilisation de deux procédures : l'une consiste à traiter des agrégats isolés, considérés comme des entités mécaniques (compression-éclatement), l'autre, reproduit artificiellement "un milieu sol", où les agrégats sont juxtaposés dans une enceinte ennoyée (gonflement et dispersion).

Le premier test fournit un pourcentage d'agrégats résistants et d'éléments désagrégés, l'autre, une information indirecte sur la dispersion des ciments et sur le colmatage de l'échantillon dans son enceinte par la mesure de la vitesse de filtration de l'eau percolant dans ce milieu.

Concernant plus précisément le processus d'éclatement, trois traitements des échantillons sont utilisés successivement avec différents effets.

- Immersion directe dans l'eau → emprisonnement de l'air et pression élastique exercée dans les enceintes capillaires,

- Imprégnation préalable à l'alcool avant l'immersion dans l'eau → l'alcool, liquide polaire et miscible à l'eau, remplace l'air dans les capillaires mais annihile l'effet "tension capillaire" par mélange avec l'eau,

- Imprégnation préalable au benzène avant l'immersion dans l'eau → deux fonctions s'exercent simultanément. Le benzène remplace l'air dans les capillaires : **non miscible** à l'eau, il exerce une pression non élastique dans les enceintes capillaires, étant **non polaire**, il se fixe sur la matière organique et constitue un film hydrophobe abaissant la mouillabilité du sol ( $\cos. \alpha$  négatif de l'angle de raccordement liquide/solide).

La dispersion, quant à elle, se produit par une rupture des liens réunissant squelette et plasma colloïdal. La résistance des ciments étant liée au nombre de charges ioniques mais aussi à la distance séparant les éléments chargés donc à l'hydratation, explique que la dispersion soit toujours précédée du processus de gonflement.



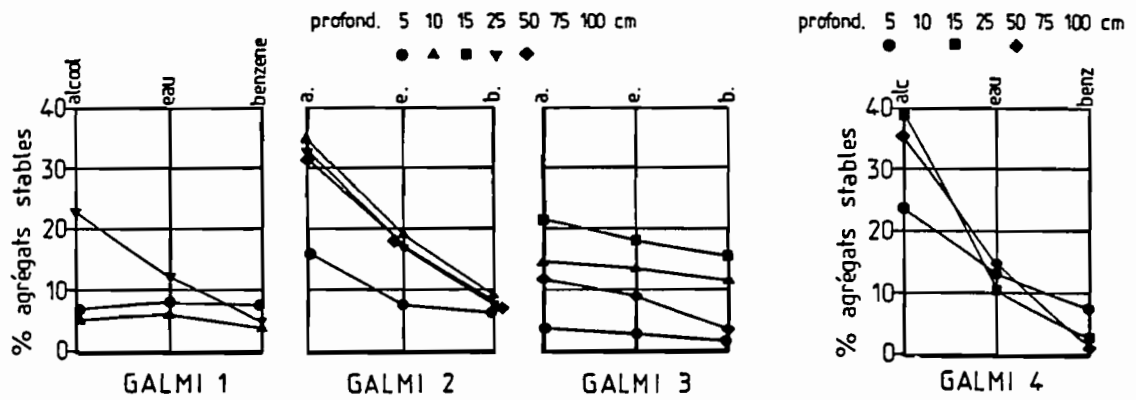


Fig. II.21.: GALMI : agrégats stables aux tests de HENIN et MONNIER (1956).

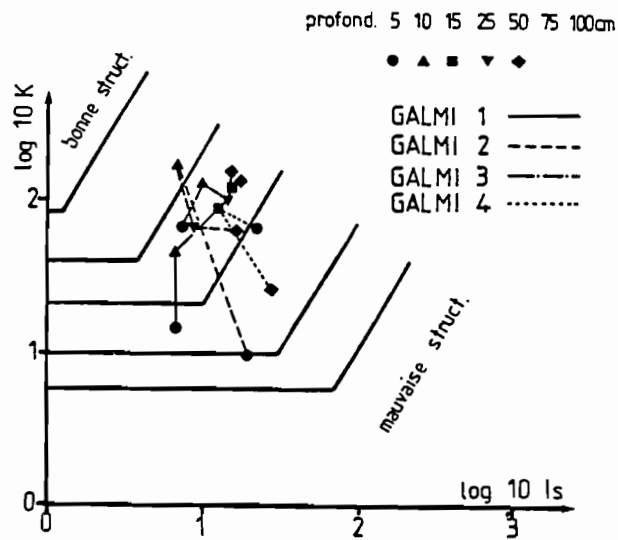


Fig. II.22.: GALMI : relation instabilité structurale-vitesse de percolation et classement des structures.

Ces différents tests visent à quantifier les comportements structuraux, mais ne peuvent fournir que des classements relatifs car ils ne reproduisent que quelques-unes des contraintes naturelles et s'effectuent sur des échantillons remaniés. Le traitement des échantillons provenant du site de GALMI a fourni les résultats représentés sur la figure II.21.

Si l'on ne considère que la résistance à l'éclatement, on constate une faible dispersion des résultats d'agrégats stables aux prétraitements "alcool et eau" des sols isohumiques plus argileux, une dispersion plus importante des taux d'agrégats stables sur les sols sableux et ce, en liaison avec un gradient textural plus important. Ceci met en évidence le rôle joué par les colloïdes argileux dans la cohésion, ce qui est confirmé par la fragilité des structures des horizons superficiels sableux de GALMI 1, 2 et 3. Le prétraitement au benzène, fragilisant au maximum les agrégats, ne révèle une action améliorante de la matière organique que dans le cas de GALMI 1 où les trois taux sont voisins mais, il est vrai, à un niveau très bas.

L'instabilité structurale ( $I_s$ ), qui est le rapport de la phase dispersée ( $< 20 \mu$ ) sur la phase agrégée ( $< 2 \text{ mm}$ ) diminuée du taux de sables grossiers, permet le classement des échantillons mais son intérêt réside aussi dans la possibilité d'être associée avec la vitesse de filtration ( $K \text{ cm/h}$ ) obtenue à l'issue du second test de gonflement-dispersion. La figure II.22. représente la position des échantillons de différentes profondeurs sur un graphique :  $\log 10 K$  ( $\log 10 I_s$ ).

L'allongement parallèle à l'axe "log 10 K" tendrait à prouver que la structuration des échantillons est plus liée à un problème de résistance à la dispersion des liens plasmiques qu'à celui d'une cohésion s'opposant à l'éclatement des agrégats.

#### d) Caractéristiques chimiques

Bien qu'importante pour ce qui concerne la fertilité des sols, l'analyse détaillée du complexe d'échange s'éloigne tant soit peu de nos préoccupations, sauf dans l'éventualité de charges sodiques ou magnésiennes excessives pouvant influencer la structure ce qui sera signalé lorsque tel sera le cas.

Les argiles de GALMI 4 sont à dominante smectitique.

#### IV.1.3. Référence à la classification C.P.C.S. (1967) \*

Au Niger central et méridional, les pédologues ont souvent dû trancher entre les sols ferrugineux tropicaux et les sols isohumiques bruns sub-arides qui présentent, sur des matériaux originels identiques, des

---

Remarque : \* Le classement des sols étudiés n'est pas une investigation obligatoire pour cette étude; elle peut cependant présenter son utilité pour d'éventuels rapprochements de comportements de sols identiques, mais classés différemment, en des pays voisins.

caractéristiques morphologiques, et parfois analytiques, relativement proches. Leur principal critère de diagnose sur le terrain est la décoloration de la partie supérieure du profil qui de brun passe à des nuances plus rouges :

- décoloration sur 20 premiers centimètres → sol ferrugineux
- coloration brune sur 20 premiers centimètres → sol isohumique.

Un autre critère, plus régional, est la limite pluviométrique déjà évoquée, séparant les domaines isohumiques et ferrugineux. Il est enfin tenu compte de la durée d'évolution supposée de ces sols liée à leur situation topographique : les vieilles surfaces supportant les sols anciens, éventuellement déphasés, et les versants, les sols plus récents.

On propose ici le classement suivant :

- GALMI 1 : sol à sesquioxydes de fer (Cl.), ferrugineux tropical (S/Cl.), peu lessivé (Gr.), modal (S/Gr.) sur sables éoliens de l'erg ancien et sables argileux de désagrégation des grès ferrugineux du Continental Terminal (Fam.) ; cette proposition suscite deux remarques :

- on peut aussi dire : "sol peu évolué, non climatique, d'érosion, régosolique, sur matériaux de sols ferrugineux tronqués",... si l'on considère sa faible épaisseur,

- le groupe "peu lessivé" est retenu malgré un indice de lessivage  $\ll 1/1,4$  car, ici, le processus de lessivage est atypique avec une accumulation argileuse ne présentant pas de revêtements dans les horizons (B)-R ou A-R,

- GALMI 2 : sol isohumique, à complexe saturé et pédoclimat chaud en saison pluvieuse, brun sub-aride, brun-rouge, sur matériaux d'altération des marnes et calcaires Eocène du bassin sédimentaire nigérien,

- GALMI 3 : sol isohumique, à complexe saturé et pédoclimat chaud en saison pluvieuse, brun sub-aride, modal, sur dépôts sableux éoliens anciens,

- GALMI 4 : sol isohumique, à complexe saturé et pédoclimat chaud en saison pluvieuse, brun sub-aride, vertique, sur colluvions et alluvions argilo-sableuses de comblement de vallée,

- l'apparition du caractère vertique au niveau du sous-groupe est justifiée par une structuration non suffisamment affirmée pour être prise en compte à un niveau taxonomique plus élevé.

#### ***IV.2. Les sols des sites expérimentaux d'un des bassins versants de la mare d'OURSI - domaine isohumique du nord du Burkina Faso - 14°37' N et 00°29' W.***

Les sites expérimentaux sont répartis le long d'une géoséquence de quelque 9 500 m. Celle-ci est limitée à l'amont par un massif de gabbro culminant à 365 m, et, à l'aval, par la "mare d'OURSI", dont les rives nord-nord-ouest sont bordées par un système de cordons dunaires récent. Une

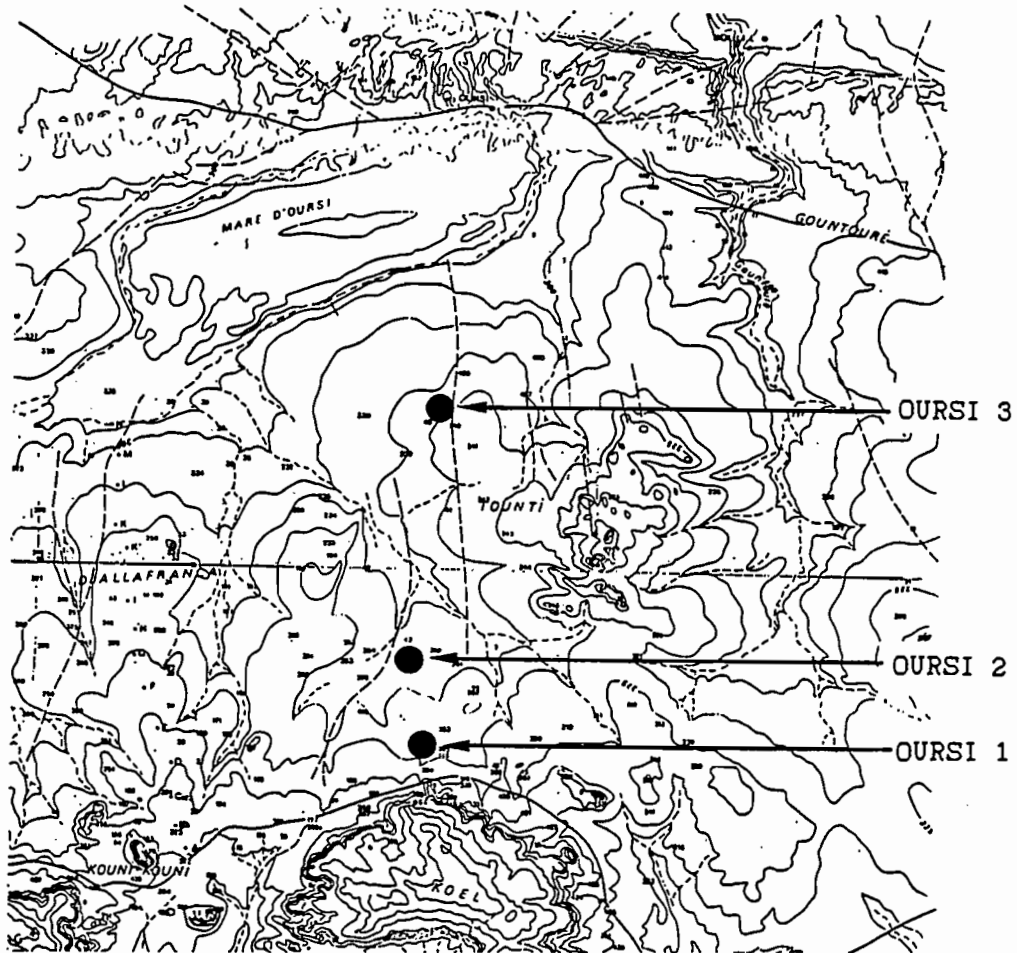


Fig. II.23.: Localisation des sites expérimentaux d'OURSIS (sur IGN, in JOLY, DEWOLF, RIOU, 1980, Burkina Faso).

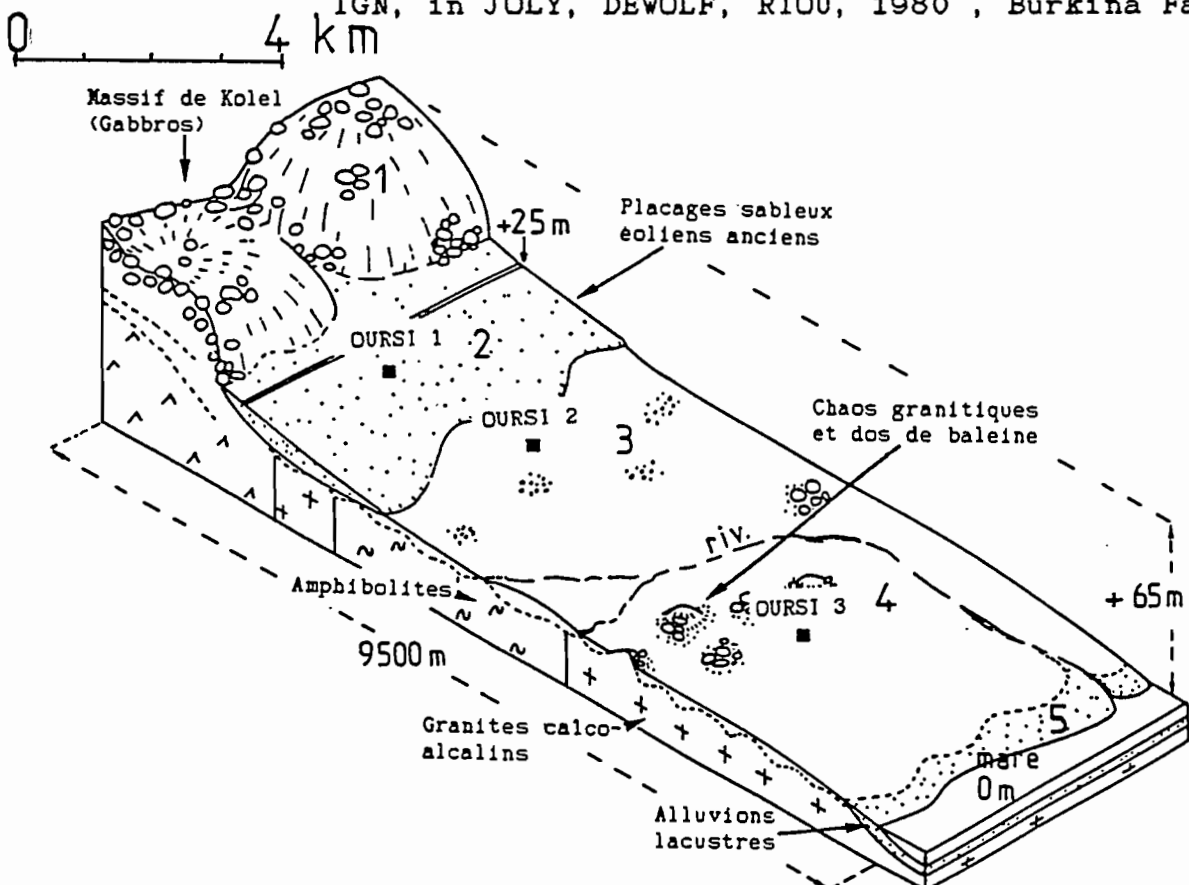


Fig. II.24.: Disposition des sites OURSI 1, 2, et 3 sur la géoséquence.

localisation plus précise des trois sites est représentée sur une copie de la carte à 1/50 000 in JOLY et DEWOLF (1980) ainsi que sur un bloc-diagramme (figures II.23. et 24.).

Compte tenu des différenciations paysagiques et pédologiques les sites ont été positionnés de la façon suivante :

- OURSI 1, à 7 300 m de la mare, en piémont du massif de gabbro, sur des placages sableux éoliens anciens fréquents sur les versants nord des reliefs de la région (segment 2 de la figure II.24.),
- OURSI 2, à 6 000 m de la mare, sur des amphibolites déblayées des recouvrements sableux précédents (segment 3),
- OURSI 3, au tiers inférieur du versant, à 2 200 m de la mare, sur des granites calco-alcalins à gros grains qui succèdent aux amphibolites (segment 4).

#### IV.2.1. Caractères morphologiques

Les sols d'OURSI 1 sont cultivés à plat en mil sur des pentes oscillant entre 2 et 3,5 % ; l'occupation du sol reste médiocre dans cette zone à fort pastoralisme et les jachères ou les sols non cultivés couvrent de vastes superficies. Le profil OURSI 1 est épais (250 cm sans altérites), généralement brun vif avec quelques passages plus rougeâtres entre 30 et 100 cm et, à partir de 120 cm, quelques taches soit plus sombres, soit jaune clair diffuses et peu contrastées qu'il est difficile de relier à une manifestation de l'hydromorphie. Les sables fins dominent largement sur toute l'épaisseur du profil et, si l'on excepte les dix premiers centimètres remaniés, la granulométrie reste constante et homogène avec des taux de limon particulièrement faibles. La structure est massive, la cohésion est forte à l'état sec, la porosité est moyenne et essentiellement tubulaire fine jusqu'à 70 cm, profondeur qui semble correspondre à la limite d'enracinement. Au-delà, la porosité tubulaire devient très faible. On note une précipitation diffuse de carbonates en pseudomycélium entre 120 et 190 cm, ainsi qu'une légère charge en nodules sesquioxidiques arrondis vers 160 cm. Il s'agit donc d'un sol peu différencié, mais avec une mobilisation faible de carbonates dans des horizons profonds présentant un discret défaut de drainage interne.

La surface se présente comme une juxtaposition de zones dénudées, lissées, sans aucun recré et de zones ensablées préférentiellement cultivées qui, lorsqu'elles sont en jachère, piègent les graines d'adventices. Ces deux types de surface n'occupent vraisemblablement pas des superficies immuables, et peuvent se substituer l'un à l'autre selon les effets de la déflation éolienne : ils sont particulièrement intéressants quant à leur comportement hydrodynamique et sont présentés sur la figure II.29. en annexe.

Dès que les recouvrements éoliens anciens disparaissent, on découvre des sols différenciés sur les altérites d'amphibolites situées au pied des gabbros du massif de KOLEL.

Ainsi, le sol du site OURSI 2, est généralement peu épais mais la limite supérieure des altérites semble très ondulée entre 70 et 150 cm. Sa teinte est brun jaunâtre à brun olive jusqu'à 80 cm limite au-delà de laquelle apparaissent de nombreuses taches jaune pâle. Sa texture est argileuse avec une

importante fraction de limons et de sables fins. Le principal critère de différenciation est sa structuration qui détermine les modalités de son humectation annuelle :

- structure massive fissurée en profondeur → humectation occasionnelle à partir des fentes en début de saison des pluies,

- de 80 à 30 cm se développe à partir des fissures une sous-structure puis une structure polyédrique grossière → humectation hétérogène des unités structurales sans dépassement de la capacité au champ,

- de 30 à 5 ou 10 cm, apparaît une structure polyédrique moyenne nette mais très engrénée → humectation plus homogène pouvant approcher la capacité au champ.

La surface du sol, quant à elle, "fond" en saison des pluies car la limite de liquidité est dépassée. Les interstratifications de dépôts fins et plus grossiers constituent alors les amorces d'une structure lamellaire qui apparaît en sous-structure des agrégats précédents.

La porosité de saison sèche est exclusivement structurale, il subsiste très peu de reliquats tubulaires de la saison des pluies. La cohésion est forte sur l'ensemble du profil. L'enracinement traduit également la dynamique particulière de ce sol : les racines ne pénètrent les agrégats que sur les 5 à 10 premiers centimètres, elles restent ensuite plaquées en surface des structures et ne descendent guère au-delà de 30 cm. Les organisations superficielles, de différentes natures, sont décrites et commentées sur la figure II.30. en annexe.

Les granites calco-alcalins à gros grains qui succèdent aux amphibolites supportent des sols généralement peu épais, interrompus par des affleurements granitiques en chaos ou "dos de baleine" fréquents sur la partie amont du segment n°4.

Cependant le sol représentatif du site OURSI 3 est extrêmement différencié quoique sur une assez faible épaisseur (altérites à 110 cm). Il comporte un premier ensemble d'horizons sableux grossiers à comportement d'horizons lessivés jusqu'à 90 cm. Les teintes brun jaunâtre dominant. La structure n'a une tendance fragmentaire qu'en surface et devient ensuite massive avec cependant une forte porosité tubulaire devenant intergranulaire dans un horizon sablo-graveleux de 65 à 90 cm. La cohésion à l'état sec est très forte.

Au-delà de 100 cm, le taux d'argile s'accroît dans un horizon plus rouge, sablo-argileux, faisant la transition avec les altérites aréniformes, hydromorphes et très colorées du granite. Ce deuxième ensemble se comporte comme un horizon d'accumulation en fer et en argile. D'autres traits pédologiques (argilanes dans les porosités tubulaires entre 30 et 50 cm, exportation quasi totale du plasma vers 70 cm, taches), prouvent l'existence d'une nappe en saison des pluies qui ennoie les altérites et peut remonter jusqu'à 45 cm.

Les surfaces (figure II.30. en annexe) étant très peu perméables, ce sont les arènes ceinturant les affleurements granitiques qui permettent le drainage, vertical puis oblique, observé lors des essais.

#### IV.2.2. Caractéristiques analytiques

##### a) Granulométrie

Trois familles texturales très tranchées traduisent les influences des matériaux originels et de la dynamique de ces sols (figures II.25 à 28) :

- Le profil textural d'OURSI 1 rappelle celui de GALMI 1 avec des rapports SF/SG assez voisins (1,5 à 1,7), très peu de limons, des taux d'argile à peu près constants. Cette similitude est liée à une origine éolienne identique

- OURSI 2 présente le profil caractéristique des sols à tendance vertique différenciés sur roche basique, sa teneur en argile et limon est importante et elle varie peu jusqu'aux altérites,

- Le profil d'OURSI 3, très hétérogène, présente les répercussions d'une dynamique éluviale et accumulative avec deux niveaux plus argileux, le premier vers 40 cm correspondrait à un lessivage vertical (dynamique superficielle), le second, à partir de 110 cm et jusque dans les altérites, correspondrait à une dynamique latérale avec "érosion interne" : cette "érosion" exporterait le plasma, enrobant les éléments des altérites et laisserait sur place un squelette quartzeux. Une autre hypothèse consisterait à prolonger d'un trait le profil des taux d'argile entre 40 et 125 cm (figure II.28.) : ceci supposerait l'existence d'un lessivage vertical, ancien, ultérieurement modifié par l'apparition d'une composante hydrodynamique latérale vidant de son plasma la tranche 50 à 110 cm, ce changement de dynamique pouvant correspondre à un colmatage des altérites et à un transit latéral et plus superficiel des nappes de saison de pluies.

##### b) Paramètres hydrodynamiques

Comme précédemment l'analyse se fonde sur les éléments d'interprétation présentés sur le tableau XX et les figures II.26., 27. et 28.

TABLEAU XX

OURSI : Capacités hydriques des tranches de 50 - 100 et 150 cm  
(exprimées en mm d'eau)

SOLS	Epais. (cm)	Poro. tot.	Macro- poro-	Micro- poro-	Point flétr.	Eau utile	Profil sec
OURSI 1	0/50	171	123	48	19	29	14
	0/100	343	241	102	48	54	34
	0/150	502	327	175	79	96	63
OURSI 2	0/50	155	18	137	82	55	36
	0/100	309	41	268	171	97	73
	0/150	441	56	385	256	129	100
OURSI 3	0/50	123	45	78	32	46	22
	0/100	268	82	186	68	118	-
	0/150	(400)	(101)	(299)	(193)	-	-

## OURSI 1

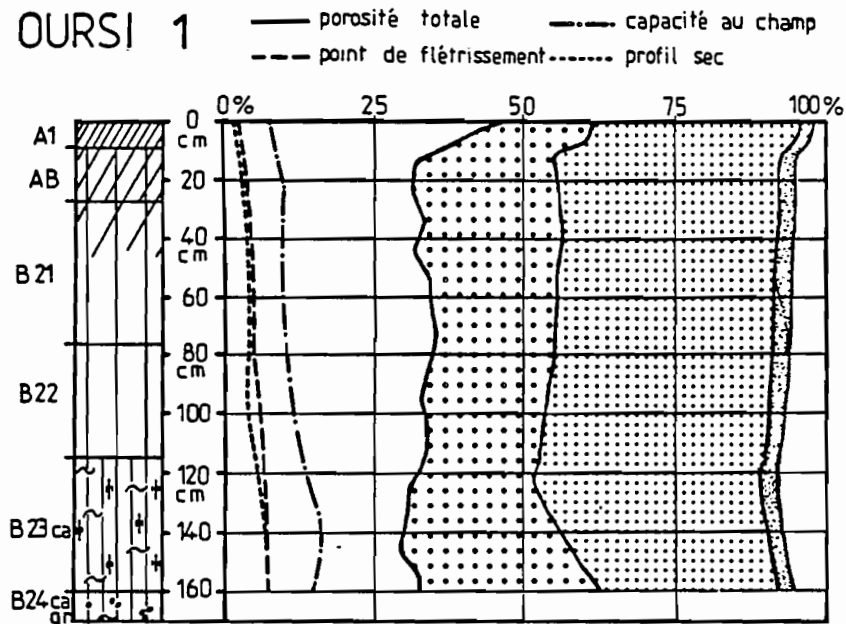


Fig. II.26.: OURSI 1 : profil pédologique et composition volumique.

## OURSI 2

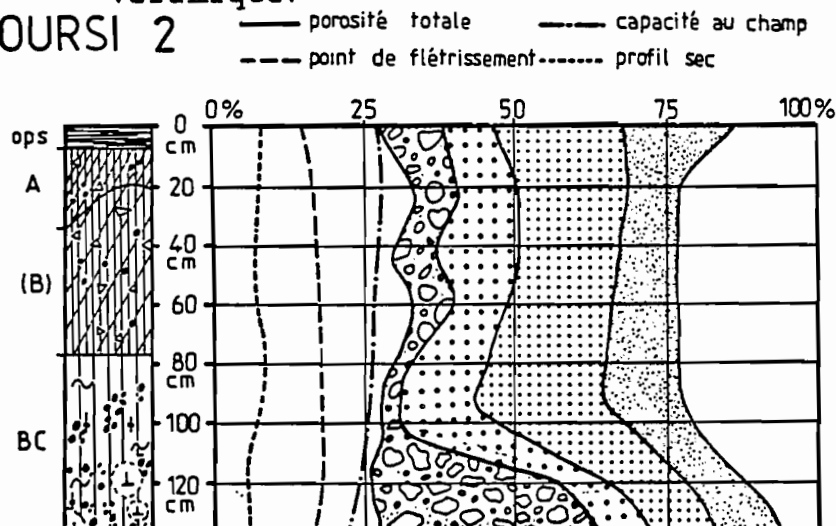


Fig. II.27.: OURSI 2 : profil pédologique et composition volumique.

## OURSI 3

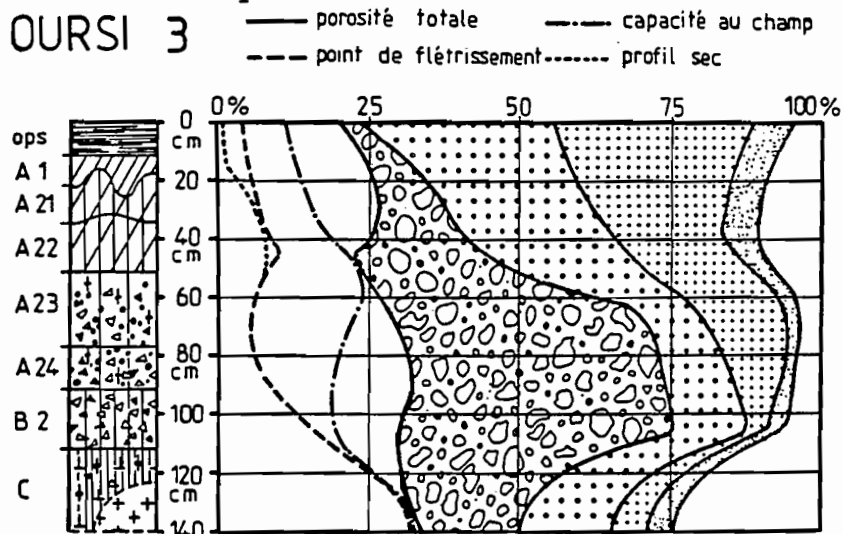


Fig. II.28.: OURSI 3 : profil pédologique et composition volumique.



• OURSI 1 présente une situation hydrique apparemment médiocre : ses réserves restent étroites tout au long du profil (env. 0,5 à 0,6 mm/cm) et sont déportées vers les humidités volumiques faibles, à la fois au point de flétrissement et à la capacité au champ. On note cependant de bonnes possibilités de drainage au moins sur 120 cm, ce qui signifie (\*) que les pluies s'infiltreront profondément avec une redistribution facile dans un profil peu différencié donc sans grands risques de rupture du lien capillaire. On remarque un début d'étranglement de la macroporosité vers 120 cm, expliquant l'origine des taches de l'horizon B23Ca, mais sans conséquence pour le développement du système racinaire des cultures annuelles. L'homogénéité de ce profil ne devrait malheureusement pas, non plus, perturber les remontées capillaires et la dessiccation.

Sa position topographique en piémont du massif de KOLEL constitue cependant un point favorable car celui-ci joue le rôle d'impluvium (ruissellement) et ses altérites épais (PION, 1979) pourraient restituer latéralement une partie des eaux drainées plus profondément.

• OURSI 2 : sa microporosité est très importante et elle décroît peu vers les altérites, les réserves utiles sont correctes jusqu'à 100 cm (env. 1 mm/cm) sans niveau de constriction. Malheureusement, environ 85 % de la porosité totale est liée à cette microporosité, ce qui implique de très faibles possibilités de drainage et ce d'autant plus qu'existent, à différents niveaux, des "barrières" (en surface, vers 45 cm et vers 85 cm) correspondant peut-être à des modifications des agencements structuraux. Comme on l'a déjà signalé pour les sols vertiques du site de GALMI 4, la composition volumique, présentée sur la figure II.27. peut très bien ne constituer qu'un stade optimisé, ou péjoré, de ses capacités hydriques en fonction d'une éventuelle dynamique structurale.

Ce qui est acquis, c'est que la constitution des réserves utiles sera beaucoup plus longue à réaliser que pour OURSI 1, par exemple, à cause de la limitation du drainage n'entraînant qu'une redistribution superficielle des eaux infiltrées. Ceci est d'ailleurs confirmé par les particularités du profil racinaire signalées dans l'alinéa "morphologie" (exploitation de la masse des agrégats sur le premier décimètre) : il risque donc de se produire un déphasage entre le cycle végétal et le remplissage des capacités hydriques sur une plus grande profondeur de profil.

• OURSI 3 : sa composition volumique répercute ses caractéristiques morphologiques et confirme les commentaires que celles-ci avaient suscitées : les élargissements de la macroporosité correspondent aux horizons éluviés plus ou moins vidés de leur plasma, tandis que ses constriction, quasi totales entre 45 et 60 cm, marquent les colmatages plasmiques des horizons illuviés. Les réserves utiles sont cependant correctes jusqu'à 100 cm (1,2 mm/cm) profondeur au-delà de laquelle l'alimentation hydrique ne se réalise que dans des conditions d'engorgement, donc sans profits pour les végétaux. La capacité de ce réservoir fluctue largement, avec un déport vers les humidités volumiques

---

(\*) abstraction faite de la conductivité hydrique des organisations superficielles

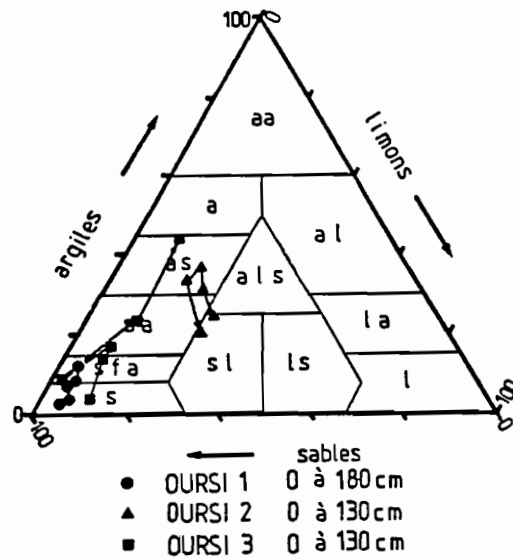


Fig. II.25.: OURSI : diagramme des textures.

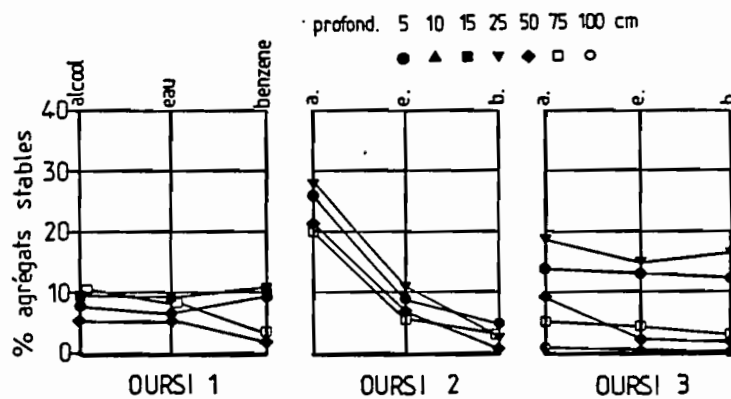


Fig. II.31.: OURSI : agrégats stables aux tests de HENIN et MONNIER (1956).

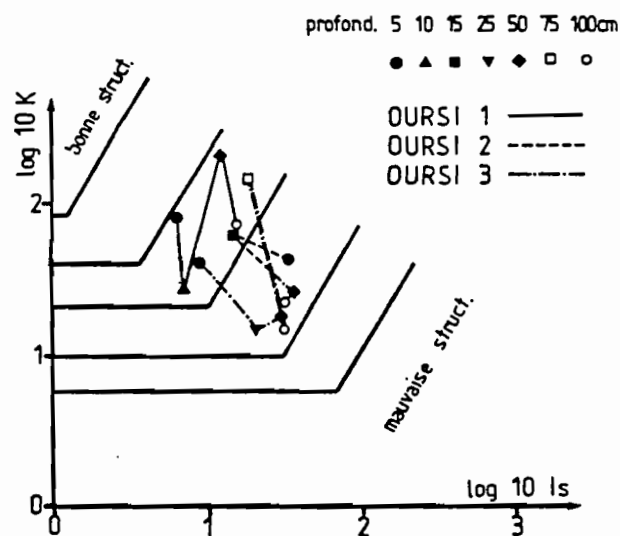


Fig. II.32.: OURSI : relation instabilité structurale-vitesse de percolation et classement des structures.

plus faibles en deçà de 35 cm, ce qui implique une dessiccation rapide que l'on constate d'ailleurs sur le profil "sec", et un déplacement vers de plus fortes humidités au-delà.

L'humectation complète de ce profil connaît probablement des seuils liés aux vicissitudes climatiques interannuelles, particulièrement en fonction des hauteurs cumulées des pluies et des temps de ressuyage entre les trains d'averses. Les meilleures conditions seront réalisées en année de forte concentration des précipitations permettant la constitution des réserves entre 60 et 110 cm et, ce, par drainage latéral. En année normale, c'est-à-dire à forte hétérogénéité des précipitations, c'est la conductivité superficielle qui commandera son hydrodynamique. On note enfin une ultradessiccation (cf. profil "sec") limitée aux 15 premiers centimètres qui pourrait jouer sur la dynamique de construction des organisations superficielles.

Compte tenu de ce qui précède, les bilans hydriques des sols de ces différents sites se rangent de la façon suivante :

- moyens pour OURSI 1, car la perméabilité est correcte mais sa dessiccation sera rapide,

- médiocres pour OURSI 2, où la principale contrainte est une fermeture de la macroporosité,

- médiocres pour OURSI 3, avec une dynamique trop superficielle en année normale, plus profonde en année exceptionnelle et à remontées capillaires limitées à cause de l'hétérogénéité texturale.

#### c) Stabilité de la structure

Les tests de résistance à l'éclatement ont donné les taux d'agrégats stables présentés sur la figure II.31.

Dans les horizons supérieurs (0/25 cm), les taux restent plus élevés sur OURSI 3, avec assez peu de différences entre les trois traitements. La cohésion sur agrégats humides est maintenue, ce qui est d'ailleurs surprenant avec des teneurs en colloïdes aussi faibles. On doit alors admettre que la cohésion est assurée par d'autres facteurs dont, peut-être, la matière organique (taux "benzène" ≠ taux "eau") qui interviendrait plus par sa qualité que par sa quantité. Malgré des taux d'argile plus importants, les agrégats d'OURSI 2 sont moins stables, avec une faible cohésion surtout assurée sur 10 cm par la matière organique. Les taux ne dépassent guère 7 % sur OURSI 1, sol sableux non cohérent à l'état humide.

Pour les horizons de profondeur, les résultats sont très regroupés, sauf sur OURSI 3 qui répercute les effets des hétérogénéités texturales.

#### d) Caractéristiques chimiques

Les sols différenciés sur sables éoliens (OURSI 1) et sur granites (OURSI 3) possèdent des caractéristiques chimiques assez proches, si l'on excepte l'augmentation de  $Mg^{++}$  et  $Na^+$  dans les altérites du granite. Leurs pH oscillent entre 7,5 et 8,0 et ils sont quasiment saturés mais ce, pour une

capacité d'échange faible (# 5 meq./100 g) liée à des taux très bas de colloïdes minéraux et organiques.

L'état du complexe des sols différenciés sur amphibolite (OURSIS 2) réclament par contre plus d'attention pour deux raisons :

- forte charge relative en  $Mg^{++}$  et  $Na^{+}$  avec des pH compris entre 7,5 et 8,7,
- augmentation de ces teneurs ( $Mg^{++}$ ,  $K^{+}$  et  $Na^{+}$ ) vers la surface.

L'enrichissement de la garniture cationique en magnésium ( $Mg/T$  passant de 25 % en profondeur à 50 % vers la surface) et le déséquilibre  $Ca/Mg$  en résultant (3,2 en profondeur et 1,1 en surface), constituent selon de nombreux auteurs (BOYER, 1978, 1982 ; HENIN et MONNIER, 1958) un facteur de dégradation de la structure, notamment pour les sols à caractères vertiques où il existe une corrélation entre les rapports  $Ca/Mg$  et cette modification. Les plus fortes teneurs en  $Ca^{++}$  favoriseraient une agrégation en grumeaux fins tandis que les structures grossières et même massives seraient imputables à des baisses de ce rapport, avec un seuil effectivement proche de l'unité.

A cette première cause, il convient d'ajouter la charge en sodium avec un rapport  $Na/T$  passant de 5 % en profondeur à 8 % en surface, là aussi cette alcalinisation se rapproche des seuils de 10 ou 15 % signalant, selon les auteurs, le passage aux sols halomorphes (BOCQUIER, 1964 ; AUBERT, 1965 ; BOULET, 1978). La conséquence est une dispersion des ciments précédée d'une forte hydratation des colloïdes. Ceci est vérifié par la diminution de la vitesse de filtration "K" apparaissant sur le graphique de la figure II.32.

L'augmentation des taux de  $Mg^{++}$ ,  $K^{+}$  et  $Na^{+}$  vers la surface suggère une concentration par évaporation de solutions salines qui contribuerait donc à enrichir le complexe par échange entre les deux phases. L'hypothèse n'est cependant guère satisfaisante : cette dynamique n'influencerait pas le pH qui reste inférieur à celui d'un sol salé, elle n'interviendrait pas dans des concentrations cationiques identiques (potassium sur OURSI 1) ou même supérieures (magnésium sur OURSI 2) en profondeur et elle nécessiterait des hydratations profondes pour le moins problématiques.

Les argiles d'OURSIS 2 sont à dominante smectitique.

#### IV.2.3. Classification

C'est le plus souvent en accord avec les auteurs de travaux antérieurs (BOULET, 1968, 1976 ; LEPRUN, 1977) que l'on propose les classements suivants :

- OURSI 1 : sol isohumique (Cl.) à complexe saturé et pédo-climat chaud pendant la saison pluvieuse (S/Cl.), brun sub-aride (Gr.), brun-rouge (S/Gr.), sur matériau sableux éolien de l'erg ancien (Fam.),

- OURSI 2 : sol isohumique, à complexe saturé et pédoclimat chaud pendant la saison pluvieuse, brun sub-aride, vertique, sur altérites d'amphibolites.

Fig. II.33.: Localisation des sites expérimentaux de POUNI, SAINT PAUL et BATANGA (Burkina Faso).

0 4 km

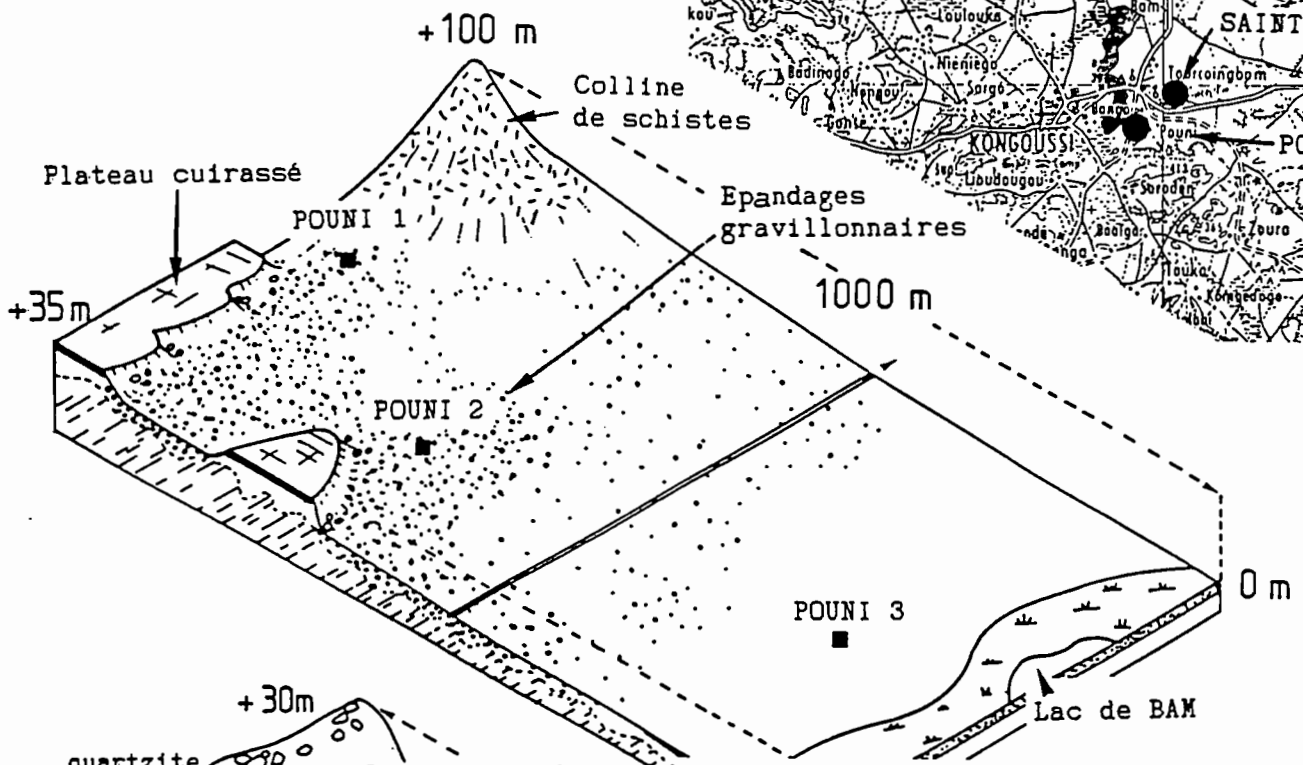
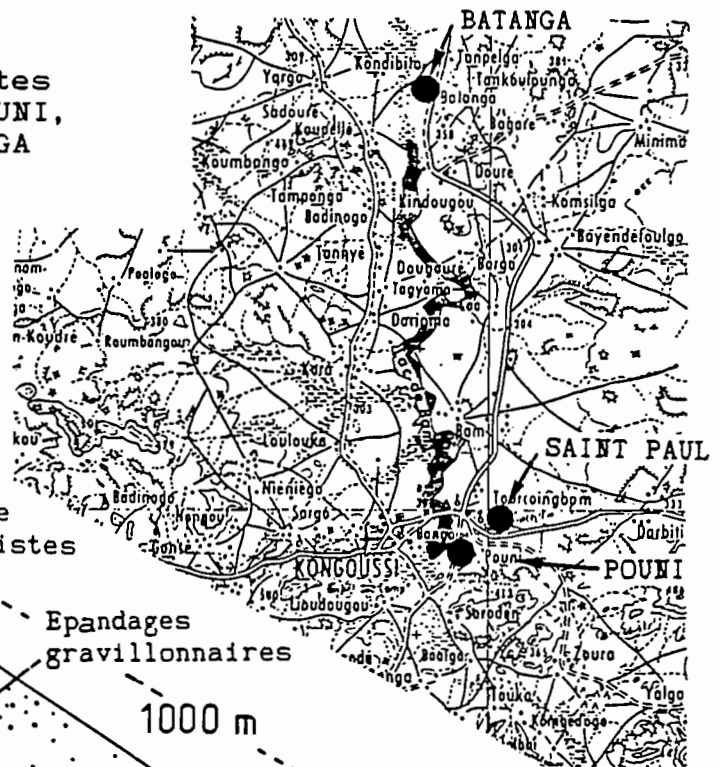


Fig. II.34.: Disposition des sites POUNI 1, 2 et 3 sur la toposéquence.

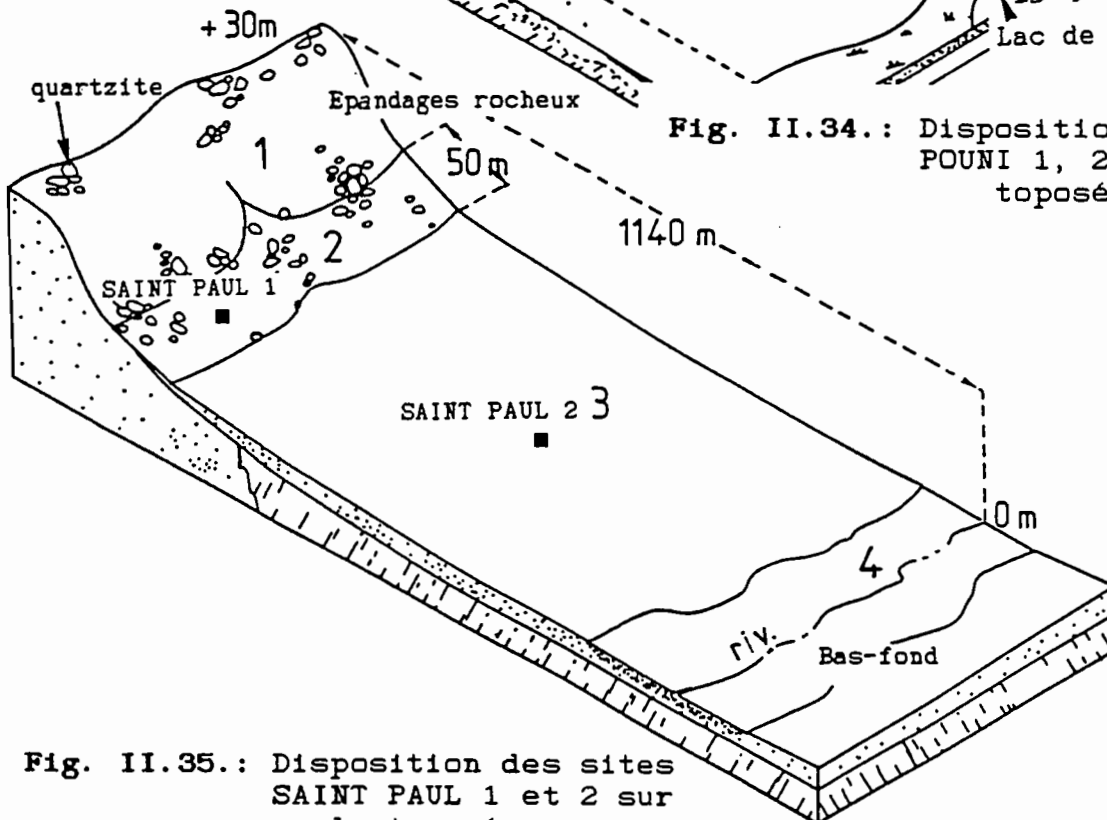


Fig. II.35.: Disposition des sites SAINT PAUL 1 et 2 sur la toposéquence.



Remarque : on pourrait noter la tendance à l'alcalinisation au niveau du sous-groupe, mais, donnant ici la préférence à la morphologie plutôt qu'au processus, cette alcalinisation resterait au niveau du faciès.

• OUESI 3 : sol à sesquioxydes de fer, ferrugineux tropical, lessivé, à concrétions, sur altérations de granites calco-alcalins à gros grains.

Remarque : les manifestations de l'hydromorphie, également importantes, pourraient aussi être signalées au niveau du sous-groupe mais en précisant "à action de nappe temporaire".

#### ***IV.3. Les sols des sites expérimentaux du bassin du lac de BAM (KONGOUSSI) - domaine des sols ferrugineux tropicaux du centre-nord du Burkina Faso - 13°20'N et 01°30'O.***

La région du lac de BAM, située à une centaine de kilomètres au nord de OUAGADOUGOU, appartient au paysage des schistes métamorphiques birrimiens. La différenciation des sols y est essentiellement déterminée par des variations lithologiques, ainsi que par la profondeur de l'érosion des altérations ferrallitiques anciennes. Trois toposéquences dominant les rives Est du lac ont été retenues, elles sont désignées par les noms des villages les plus proches : POUNI, SAINT PAUL et BATANGA (cf. carte de localisation de la figure II.33.).

Les schistes pélitiques y prédominent avec des intercalations de grès-quartzites (chainon de SAINT PAUL). Quelques formations post-tectoniques recoupent cet ensemble et constituent des reliefs rocheux peu étendus (syénites de POUNI par exemple). Le modelé se présente sous la forme d'une surface faiblement ondulée de quelque 300 m d'altitude d'où émergent des plateaux cuirassés et des collines plan-convexes à affleurements de nodules ferrugineux, eux-mêmes parfois dominés par des reliefs rocheux. Les premiers versants de raccord sont concaves et assez pentus sur une centaine de mètres (> 7 %) puis rectilignes sur environ 1 000 m avec des pentes oscillant entre 0,5 et 1,5 %. Depuis les sommets des plus hauts témoins cuirassés, culminant à rarement plus de 350 m, on découvre, à environ 8 km plus au sud, l'importante barrière des plateaux à cuirasse bauxitique de Kaya (500 m) qui ferme l'horizon.

La végétation naturelle est une savane arborée, mais sa composition traduit, dans la région de KONGOUSSI, une forte influence de l'homme qui y a favorisé le développement d'espèces utiles (Karité, Baobab et Tamarinier). Tous les essais s'étant déroulés entre les mois de mars et de mai, la strate herbacée avait presque entièrement disparu. Plus près du lac s'étendaient les jachères de champs cultivés en mil, sorgho, coton.

La toposéquence de POUNI, schématisée sur le bloc-diagramme de la figure II.34., est dominée à son amont par une colline de syénite, puis par des plateaux cuirassés discontinus directement rattachés au piémont ou encore séparés de celui-ci par une dépression périphérique. Vient ensuite une première portion de versant, à affleurements gravillonnaires denses sur altérations ferrallitiques anciennes, où fut installé le site à quelque 50 m de la corniche cuirassée (pente : 7,5 %). Deux autres sites furent retenus sur le long versant légèrement concave puis rectiligne : l'un à 250 m de la corniche, encore sur

des sols gravillonnaires et sur altérations ferrallitiques anciennes (POUNI 2, pente : 2%), l'autre vers le tiers inférieur du versant, à 715 m, sur des sols meubles et altérations récentes (POUNI 3, pente : 0,9 %).

La toposéquence de SAINT PAUL (cf. figure II.35) part d'une crête de grès-quartzites dont l'une des extrémités surplombe le lac. Cette crête, étroite, délimitée par de courts versants très pentus, est généralement ceinturée par un petit glacis de piémont de 20 m de large occupé par des sols sableux peu épais encombrés de fragments rocheux : SAINT PAUL 1 avec une pente de 4,5 %. A 500 m de ce dernier fut aménagé le second site de la séquence (SAINT PAUL 2) au milieu d'un versant rectiligne peu pentu (2,6 %), sur des sols sablo-argileux épais et meubles.

La troisième toposéquence de BATANGA, située à 18 km au nord de SAINT PAUL, est dominée par un chaînon de chloritoschistes au pied duquel se sont différenciés des sols argilo-limoneux, souvent vertiques, tout au long d'un versant de 1 500 à 2 000 m très peu pentu. Un seul site y fut étudié à un endroit où la pente ne dépasse pas 1 % : BATANGA 1.

#### *IV.3.1. Caractères morphologiques*

**POUNI 1** : la surface du sol présente un épandage gravillonnaire continu, uniquement interrompu tous les 5 à 7 m par des rigoles d'érosion incisant le sol sur 10 à 20 cm ; elle n'est couverte par aucune strate herbacée mais par un buisson d'épineux pour 10 m<sup>2</sup> environ.

Le profil peut se résumer en deux ensembles :

- De 0 à 90 cm : c'est une série d'horizons humifères, très gravillonnaires, d'abord bruns, sablo-argileux sur 20 cm puis très argileux et rouge vif au-delà. Etant donné le taux élevé d'éléments grossiers, la structure est difficilement discernable en surface, elle devient par contre polyédrique très fine en profondeur. La cohésion est forte à l'état sec et la porosité est importante.

- A partir de 90 cm, on commence à distinguer des fragments de schistes altérés et ferruginisés au milieu d'un matériau versicolore rouge vif et jaune, plus limoneux. On ne découvre les schistes altérés en bancs très redressés que vers 180 cm.

**POUNI 2** : sa surface présente également un important épandage gravillonnaire dont environ 30 % sont recouverts par des chaumes de sorgho. Des ondulations de 0,7 à 1,0 m de période et de faible amplitude (5 à 10 cm), signalent les anciens billons des cultures de l'année précédente.

Le profil est encore du type argileux et gravillonnaire sur altérations anciennes mais, par rapport à POUNI 1, on note :

- un appauvrissement en argile plus important dans les horizons de surface,

- la présence d'argilanes épaisses dans les porosités tubulaires entre 40 et 140 cm.



Des lithoreliques ferruginisées, qui commencent à se juxtaposer aux nodules à cuticules, et une tendance à l'induration des altérites se remarquent à partir de 90 cm. Les altérites en place n'ont pas été découverts sur une fosse de 2 m de profondeur.

POUNI 3 est situé au tiers inférieur du versant. Ses caractéristiques le différencient nettement des deux profils précédents. La surface du sol ne comporte presque plus d'épandages gravillonnaires, les pellicules superficielles tendent à se généraliser.

Le profil présente trois ensembles :

- De 0 à 90 cm se succèdent toute une série d'horizons argilo-sableux sans éléments grossiers, brun rougeâtre de 0 à 30 cm puis rouge jaunâtre de 30 à 90 cm. La structure y est faiblement développée, le matériau est cohérent et la porosité tubulaire est assez nette mais se limite aux horizons humifères, donc environ sur les 50 premiers centimètres.

- On passe, de 90 à 125 cm, à un horizon tacheté de jaune pâle contenant des concrétions sesquioxidiques noirâtres friables.

- Des fragments de schistes altérés non ferruginisés apparaissent vers 125 cm au sein d'un matériau argileux de plus en plus tacheté en profondeur.

La toposéquence de POUNI présente globalement les caractéristiques suivantes :

- Aux concentration gravillonnaire de la moitié amont du versant, succèdent des organisations pelliculaires superficielles ; les eaux de ruissellement se canalisent en rigoles sur les plus fortes pentes gravillonnaires du piémont, mais ce ruissellement ne se hiérarchise plus au-delà, même sur les sols meubles de la moitié inférieure du versant,

- Les traits altéritiques apparaissent à faible profondeur (de 90 à 125 cm), et deux facies se succèdent : ferrallitique ancien en amont, plutôt hydromorphe et ferrugineux en aval,

- Le drainage interne est important en amont, il devient défectueux en aval avec une accentuation, semble-t-il concomitante, de l'appauvrissement en colloïdes argileux,

- On remarque enfin que le matériau originel est constitué par des schistes de la séquence pélique, et non par les syénites qui constituent le relief de commandement.

SAINT PAUL 1 : ce site est installé sur un épandage de cailloutis gréseux ; on ne note pas de strate herbacée mais un buisson d'épineux pour 5 m<sup>2</sup> ; une pellicule de texture fine recouvre le sol sur 5 mm et des rigoles d'érosion anastomosées laissent apparaître, çà et là, vers - 20 ou - 30 cm, la dalle de grès quartzite.

Le profil présente deux horizons.

- Sur les 25 premiers centimètres, il s'agit de sables humifères brun pâle cohérent, massif, poreux, très fin tubulaire.

- Au-delà de ces 25 cm, s'accumulent des cailloux et graviers de grès peu altérés (cortex légèrement ferruginisé) dans un matériau sableux jaune devenant sablo-argileux en profondeur, la structure n'y est plus discernable.

- La dalle rocheuse, peu fissurée semble-t-il, apparaît entre 60 et 70 cm.

**SAINT PAUL 2** : on ne retrouve aucun autre affleurement rocheux sur le reste du versant où prédominent les sols meubles et profonds. Leur surface est fortement remaniée par la culture ; il subsistait, à l'époque des essais, des chaumes de sorgho en place, tous les 50 cm, en sommet de buttes à pellicules plus ou moins effondrées (constituant un microrelief de 10 cm) tandis que les microdépressions s'emplissaient de sables fins.

La migration des colloïdes et l'hydromorphie sont les deux principaux processus aboutissant à la différenciation suivante.

- De 0 à 23 cm : sables humifères brun jaunâtre remaniés par la culture, massifs, cohérents, finement fissurés, très poreux, fins tubulaires,

- Un horizon fait transition de 23 à 40 cm vers une série d'autres horizons à accumulations argileuses, les premiers, bien drainés entre 40 et 95 cm, les suivants présentant des caractères d'hydromorphie de 95 à 150 cm,

- Le premier horizon argilique, de 40 à 95 cm rouge jaunâtre, sablo-argileux, cohérent, massif, extrêmement poreux est caractérisé par une mésostructure de type "mie de pain". En effet, le fond matriciel est constitué par la juxtaposition de deux phases, l'une où le squelette quartzueux reste lié au plasma argileux, l'autre où prédomine un squelette quartzueux assez lâche ; D'épaisses argilanes couvrent les parois des tubes les plus grossiers (diamètre atteignant parfois 10 mm).

- Au-delà de 95 cm apparaissent des taches rouges et une légère accumulation de concrétions sesquioxydiques noires, friables et de graviers de quartz.

- A partir de 150 cm, et jusqu'à 190 cm, on découvre un horizon fortement tacheté en brun jaunâtre, en rouge et en blanc au niveau des pores. Cet horizon sablo-argileux, massif, cohérent, est moins poreux que les horizons sus-jacents mais les plus gros pores présentent toujours d'épaisses argilanes gris clair.

La séquence de SAINT PAUL, est donc essentiellement caractérisée par

- un piémont très étroit jouant le rôle d'impluvium,
- le développement généralisé des pellicules superficielles,
- d'importantes ségrégations plasmiques profondes sur la majeure partie des sols du versant.

La séquence de **BATANGA** n'a donné lieu qu'à un seul essai vers la mi-versant :

• **BATANGA 1** : le site expérimental caractérisé par ce profil, se situe sur une jachère de sorgho de 2 ans envahie par des épineux à raison d'un buisson pour 2 m<sup>2</sup> ; une strate de chaumes graminéens couvre environ 40 % de la surface du sol. Un important réseau de fentes de dessiccation parcourt la surface, ces fentes dessinent des mailles de 3 à 5 m de côté, elles peuvent atteindre 10 cm de largeur et leurs profondeurs, en avril, étaient de 120 à 150 cm. On relève aussi 3 à 4 effondrements sur 50 m<sup>2</sup>, ils font 20 à 30 cm de diamètre sur 10 à 15 cm de profondeur. Une assez épaisse pellicule (5 à 10 mm) d'éléments fins et plus grossiers interstratifiés couvre uniformément le sol ; des copeaux de dessiccation et un peu de sable éolien s'accumule souvent dans les dépressions.

Le développement particulier de la structure a été retenu comme principal critère de différenciation des horizons. Deux ensembles d'horizons apparaissent dès lors.

• De 0 à 20 cm ou 25 cm, la structuration fragmentaire est très nette. Si l'on excepte les lames superficielles, elle reste cependant grossière à très grossière polyédrique, avec un début de sous-structure plus fine au contact des fentes de retrait : la porosité tubulaire fine et moyenne y est assez bien développée, ce qui constitue un trait assez original par rapport aux autres sols vertiques.

• De 25 à 160 cm, la structuration devient peu nette, le volume des vides interagrégats diminue sensiblement et l'on distingue de 25 à 110 cm un matériau massif fissuré en "prismes" où une sous-structure cubique peut être identifiée à partir des fentes. La porosité tubulaire fine disparaît presque complètement. De 100 à 160 cm, les fissurations deviennent encore plus étroites et l'on peut distinguer çà et là, vers 150 cm, des sous-structures en lamelles obliques discrètement lissées ainsi que des lames gauchies et striées (sicken-side ?).

La texture ne constitue pas, sauf sur les 15 premiers centimètres, un facteur important de différenciation, elle reste argilo-limono-sableuse sur l'ensemble du profil. Il en va de même de la couleur qui est homogène brun foncé avec des nuances "olive" en profondeur. L'enracinement n'est vraiment dense que sur les 13 à 15 premiers centimètres.

La différenciation structurale, la texture homogène et équilibrée, le réseau des fentes de retrait, l'enracinement superficiel sont les principaux critères de ce sol : ils rappellent assez nettement ceux des profils GALMI 4 et OURSI 2.

#### *IV.3.2. Caractéristiques analytiques*

##### **a) Granulométrie**

L'analyse des profils texturaux et des diagrammes triangulaires des figures II.36. et II.37. à 41. permet de séparer les familles des sols sur

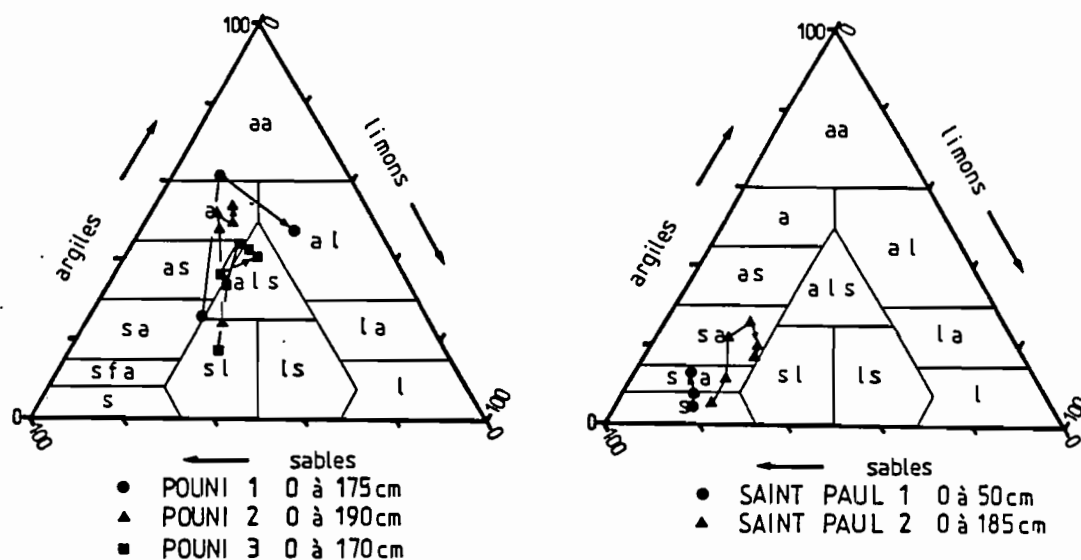


Fig. II.36.: POUNI et SAINT PAUL : diagrammes des textures.

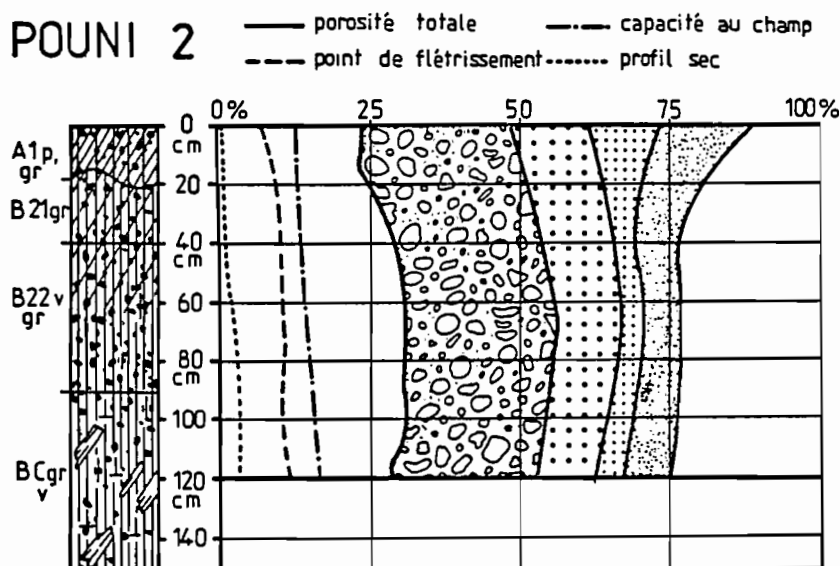


Fig. II.37.: POUNI 2 : profil pédologique et composition volumique.

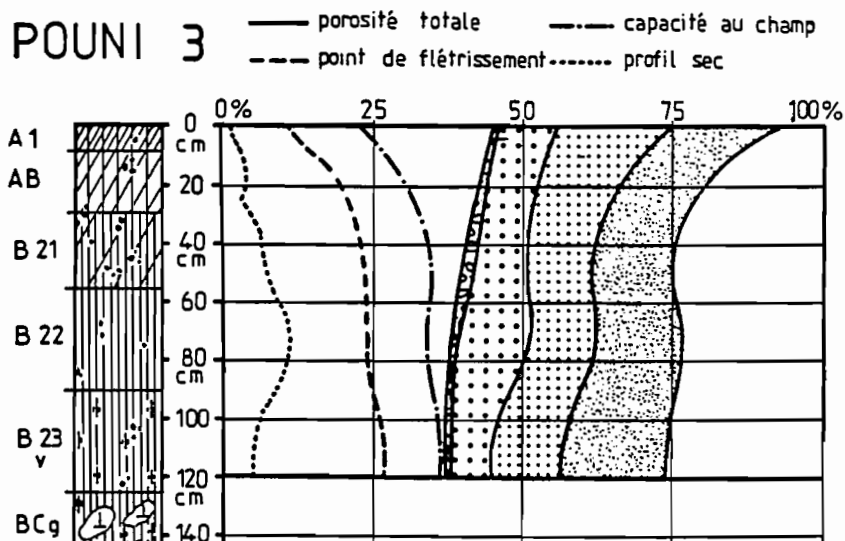


Fig. II.38.: POUNI 3 : profil pédologique et composition volumique.

schistes à horizon B, argileux à argilo-limono-sableux (POUNI-BATANGA), des familles sur grès-quartzites à horizons BC ou B sablo-argileux (SAINT PAUL).

La séquence de POUNI montre une diminution progressive du taux d'argile de l'amont vers l'aval (POUNI 3) avec un appauvrissement important des horizons superficiels aboutissant à une accumulation relative en limons et sables fins sur 20 cm, les taux de sables grossiers variant, quant à eux, assez peu. Cet appauvrissement, quoique léger, est encore perceptible sur BATANGA 1 jusqu'à - 40 cm; il faut alors plutôt y voir l'effet de l'introduction dans les fissures béantes des matériaux plus grossiers en provenance de la surface (ruissellement, éolisation) plutôt qu'une ablation sélective des argiles.

Le "ventre" argileux de SAINT PAUL 2 reconnaissable entre 30 et 120 cm, témoigne d'une accumulation absolue d'argiles lessivées depuis la surface comme le confirment certains traits pédologiques (argilanes) découverts lors de la description morphologique.

#### b) Paramètres hydrodynamiques

Le tableau XXI regroupe les répartitions volumiques des phases solides et fluides, et, à l'intérieur de cette dernière, la distribution des volumes poreux.

=====

**TABLEAU XXI**  
Capacités hydriques des tranches 0 - 50 - 100 et 150 cm  
(exprimées en mm d'eau)

PROFIL	Epais, (cm)	Poro, tot.	Macro- poro.	Micro- poro.	Point flétri,	Eau utile	Profil sec
POUNI 2	0/150	133	64	69	49	21	10
	0/100	285	140	145	105	41	23
POUNI 3	0/50	212	59	153	97	56	22
	0/100	400	76	324	242	106	68
SAINT PAUL 1	0/50	225	155	70	21	49	-
	0/75	363	260	103	35	69	-
SAINT PAUL 2	0/50	196	118	78	39	39	3
	0/100	374	180	194	101	94	14
	0/150	563	269	294	159	135	62
BATANGA 1	0/50	190	37	153	99	53	27
	0/100	344	42	302	220	82	71
	0/150	496	-	-	325	-	132

=====

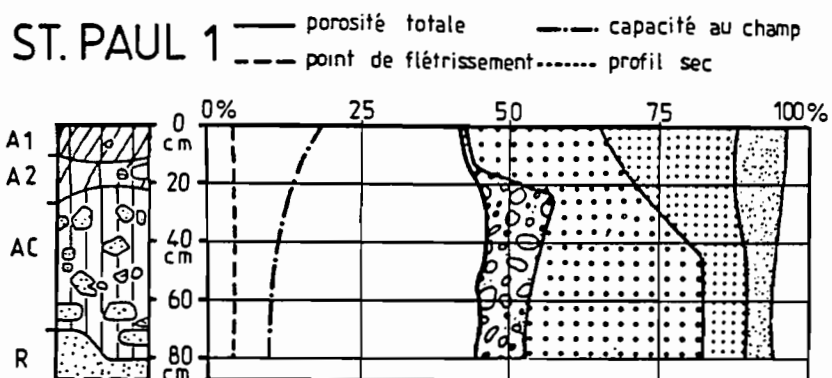


Fig. II.39: SAINT PAUL 1 : profil pédologique et composition volumique.

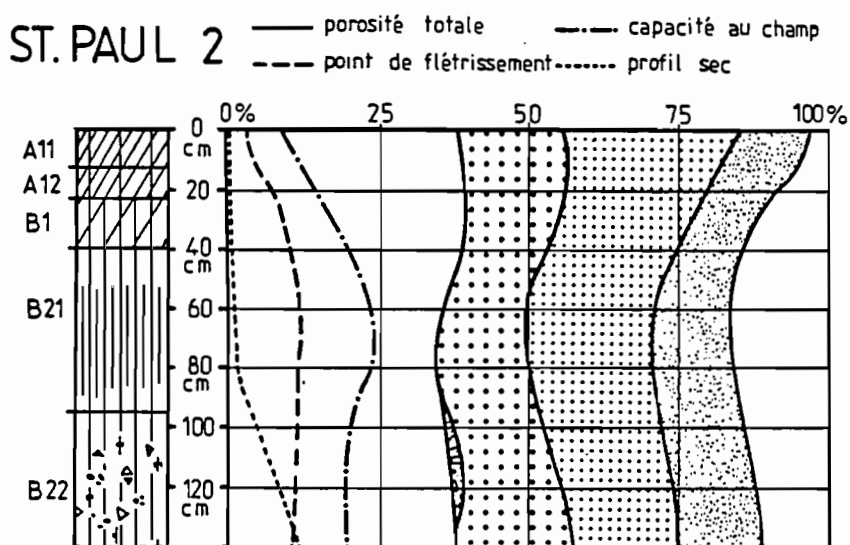


Fig. II.40.: SAINT PAUL 2 : profil pédologique et composition volumique.

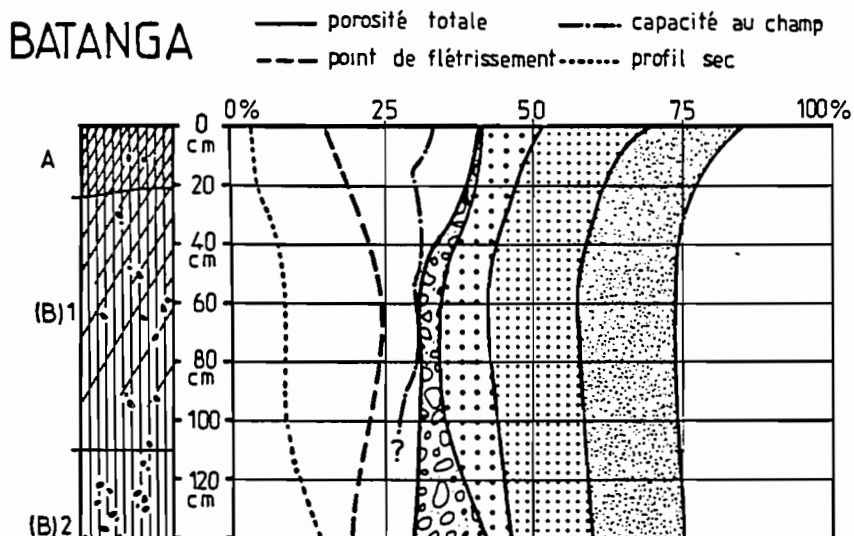


Fig. II.41.: BATANGA : profil pédologique et composition volumique.

En supposant une conductivité hydraulique non contrôlée par les organisations superficielles, l'analyse des valeurs de ce tableau et, surtout, celle des diagrammes volumiques correspondants (figures II.37. à 41.) permettent certaines prévisions de comportements hydrodynamiques.

**POUNI 2** : présente une porosité totale faible (# 30 %) résultant d'une charge importante en éléments grossiers occupant en moyenne 35 % de la phase solide. Ces éléments grossiers sont des nodules ferrugineux très indurés et à cuticule, donc peu susceptibles de participer aux échanges hydriques si l'on fait référence aux travaux de BDA (1983). Les réserves utiles sont faibles (environ 0,4 mm/cm) et déportées vers des humidités volumiques faibles. Par contre, les possibilités de drainage sont bonnes car on ne décèle aucune zone d'étranglement de la macroporosité, l'infiltration devrait être profonde et la redistribution facile. Le profil sec montre une ultradessication sur 30 cm correspondant aux horizons les plus appauvris.

**POUNI 3** : possède une porosité totale correcte et une gamme d'eau utilisable de 1,0 à 1,2 mm/cm qui reste donc dans la bonne moyenne. Cependant la principale caractéristique de ce profil est l'étranglement progressif de sa macroporosité dont la capacité évolue en raison inverse de l'augmentation du taux d'argile. Les possibilités de drainage s'amenuisent et deviennent quasi nulles vers 95 cm, profondeur correspondant d'ailleurs à l'apparition des horizons hydromorphes. Le point de flétrissement n'est atteint que pour 60 mm d'eau dans les horizons appauvris en argile, soit sur 35 cm de profondeur, et pour 250 mm jusqu'aux altérites. Ces valeurs limites sont importantes, surtout sous le climat considéré, et l'on conçoit dès lors que la dynamique racinaire ne puisse être que superficielle quelle que soit la fertilité chimique de ces sols. Le tracé du profil sec garde la "trace" d'un front d'humectation qui se limiterait à la profondeur de 75 ou 80 cm, c'est-à-dire un peu au-dessus de la zone d'engorgement.

**SAINT PAUL 1** : le profil de la figure II.39. est un peu plus profond que la moyenne, en effet la dalle gréseuse apparaît plus fréquemment vers 60 cm. L'altération de cette dalle ne fournissant que peu d'argile, il y a peu de chance pour que les fissures la parcourant soient colmatées aussi, à part quelques exceptions, les eaux de drainage devraient-elles migrer profondément ; ceci est confirmé par l'absence de manifestations d'hydromorphie en profondeur. Son profil volumique est caractéristique des sols sableux et ne suscite que la remarque suivante : bonne situation hydrique mais assèchement rapide par drainage profond et, étant donné la texture, dans le cas de la constitution d'une réserve au-dessus de la dalle non fissurée (vasque de lithomarge), rupture vraisemblable du lien capillaire.

**SAINT PAUL 2** : son profil volumique traduit sa différenciation morphologique. Sa macroporosité est essentiellement tubulaire, et l'étranglement des 70 cm est une conséquence de l'accumulation des argilanes entre 40 et 95 cm, celle-ci influençant également le tracé des humidités au point de flétrissement. Il en résulte une gamme d'eau utilisable moyenne sur les 20 premiers centimètres (0,6 mm/cm) devenant importante (# 1,0 mm/cm) entre 40 et 120 cm.

Les manifestations de l'hydromorphie, qui apparaissent à partir de 95 cm, posent problème si l'on confronte les données morphologiques du paragraphe précédent et les données analytiques. Elles ne correspondent en effet à aucun "accident" décelable de la composition volumique : la macroporosité reste importante et permet un bon drainage interne (encore 89 mm entre 100 et 150 cm). Une hypothèse consisterait à supposer qu'il s'agit d'un ancien horizon tacheté à évolution déphasée par rapport à la dynamique actuelle, elle n'est pas vérifiée puisque l'on observe une inflexion de tracé du profil sec à 85 cm et une augmentation d'humidité en profondeur (humidité à pF 4,2 dépassée à 140 cm). Cette persistance d'humectation profonde en pleine saison sèche pourrait, par contre, être mise en relation avec des remontées capillaires en provenance d'horizons perhumides plus profonds que les 190 cm de la fosse. L'hydromorphie serait alors actuelle, et le niveau d'accumulation d'argile correspondrait à la limite supérieure de remontée d'une nappe en fin de saison des pluies. Le plancher de cette nappe pourrait d'autre part être constitué par les altérites des schistes, l'épipédon étant alors différencié dans des colluvions sableux provenant des grès-quartzites de l'amont.

**BATANGA 1** : on y retrouve une situation hydrique rappelant celle du profil OURSI 2 de la région Nord : granulométrie voisine et composition volumique à nouveau influencée par la structuration. La macroporosité déjà moyenne jusqu'à 30 cm (environ 1 mm/cm) se ferme complètement entre 45 et 75 cm et ne réapparaît guère au-delà de cette profondeur. La limite des 30 cm correspond à la différenciation structurale entre polyédres grossiers et structure massive profonde. L'hétérogénéité latérale de ces sols est importante, du fait de leur fissuration profonde, aussi leur comportement ne peut-il être étudié qu'en considérant une maille représentative renfermant ce réseau de fissures ; il est vraisemblable que la superficie des parcelles est à peine suffisante pour pouvoir caractériser une hydrodynamique prenant en compte ces hétérogénéités. Les humidités à pF 4,2, relativement élevées, varient en raison directe du taux d'argile ; il en résulte une gamme d'eau utilisable correcte jusqu'à 50 ou 60 cm s'amenuisant très sensiblement en profondeur.

Les éléments précédents permettent d'ordonner les situations hydriques suivantes.

- Situation moyenne à bonne pour SAINT PAUL 2 et POUNI 3 : drainage interne correct dans le profil racinaire et bonnes réserves hydriques,

- Situation moyenne pour POUNI 2 : drainage interne important même au-delà du profil racinaire, les réserves utilisables sont faibles et non améliorables par des transferts provenant des éléments grossiers peu poreux,

- Situation médiocre pour BATANGA 1 : les réserves utilisables peuvent paraître correctes mais les risques d'asphyxie existent. Médiocre également pour SAINT PAUL 1 : les pertes sont importantes et les éventuelles réserves semi-profondes risquent d'être inutilisées par interruption des remontées capillaires.



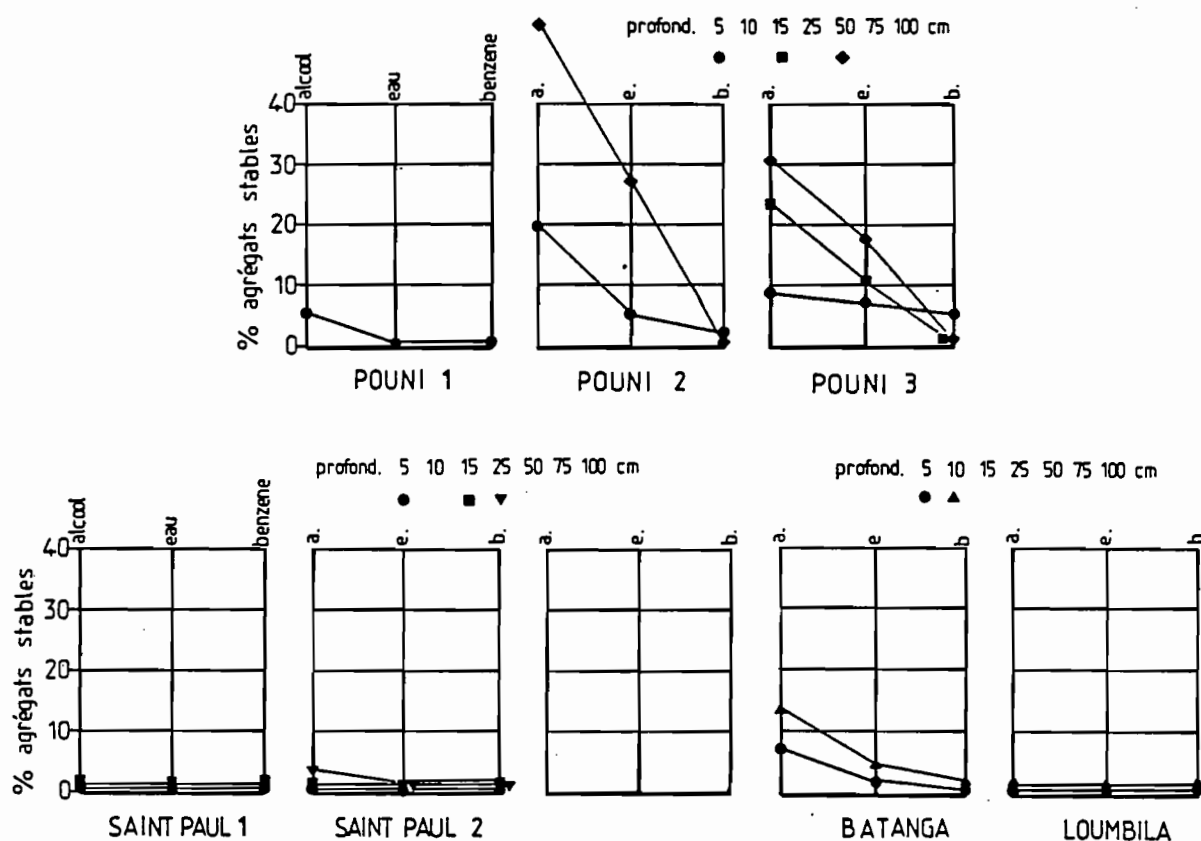


Fig. II.42.: POUNI, SAINT PAUL, BATANGA : agrégats stables aux tests de HENIN et MONNIER (1956).

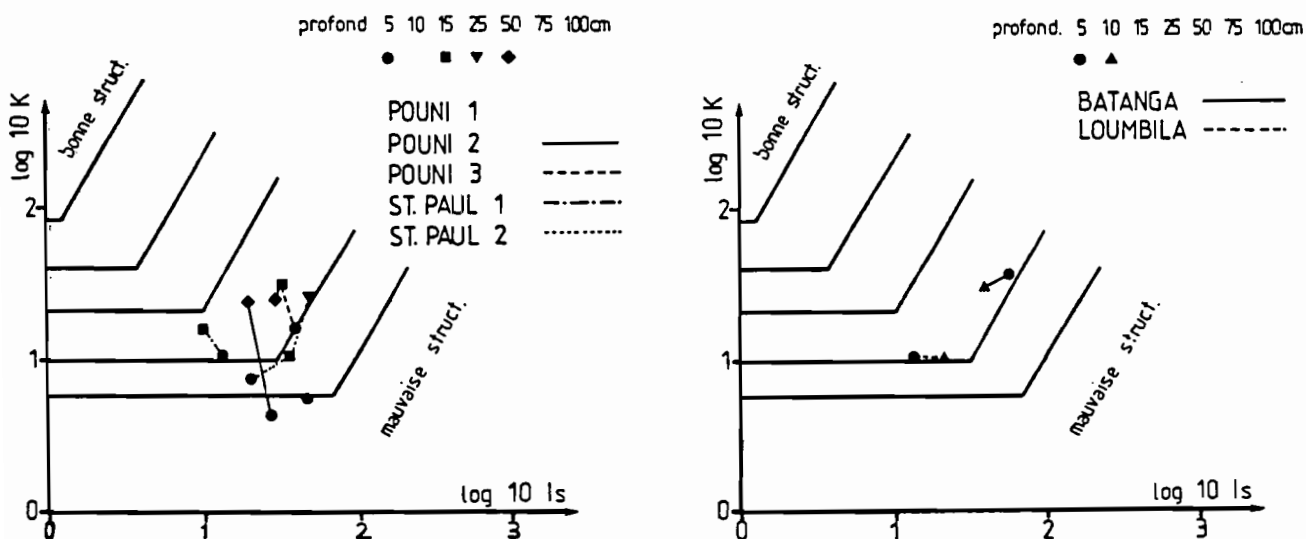


Fig. II.42'.: POUNI, SAINT PAUL, BATANGA, LOUMBILA : relation instabilité structurale-vitesse de percolation et classement des structures.



### c) Stabilité de la structure

La figure II.42. regroupe les taux d'agrégats stables résistant aux différents prétraitements des tests de HENIN et MONNIER (1956).

Toutes proportions gardées, les structures superficielles de POUNI 3 sont les plus résistantes. Leur meilleure cohésion est en grande partie assurée par la matière organique comme le montrent les faibles variations entre les traitements "eau" et "benzène".

Il reste par contre très peu d'agrégats sur les extrêmes texturaux, qu'il s'agisse des échantillons sableux de SAINT PAUL (6 à 11 % d'argile) ou des échantillons argilo-limono-sableux de BATANGA (26 à 36 % d'argile) : l'absence de cohésion est liée à l'insuffisance des ponts argileux non compensée par les très faibles taux de matière organique sur SAINT PAUL.

Il faut voir d'autres causes, chimiques, pour expliquer la désagrégation des structures superficielles de BATANGA où les taux d'argile et de matière organique sont relativement plus élevés.

### d) Caractéristiques chimiques

Sur les 20 premiers centimètres, les états du complexe absorbant font ressortir trois familles de sols.

• POUNI 1, 2 et 3 ont des réactions avoisinant la neutralité, contiennent 7 à 10 meq./100 g de bases échangeables qui satureront fortement, ou complètement, le complexe :

• Les réactions de SAINT PAUL 1 et 2 deviennent légèrement acides (ph de 6,1 à 6,6), leurs épipédons ne contiennent plus que 1 à 2,5 meq. de bases pour des capacités d'échanges < 4,7 meq./100 g,

• On retrouve par contre, sur les échantillons de BATANGA, un complexe d'échange rappelant celui d'OURSI 2 avec 18 meq. de bases saturant presque entièrement le complexe.

En profondeur, les garnitures cationiques augmentent, sauf pour les deux sols de piémont SAINT PAUL 1 et POUNI 1 : la relative pauvreté en bases de leurs horizons profonds est due, soit à la nature siliceuse de la roche-mère (SAINT PAUL 1), soit à l'héritage minéral des altérites ferrallitiques sur POUNI 1).

Comme pour certains sols de la mare d'OURSI, on constate des déséquilibres assez nets dans la garniture cationique des complexes absorbants avec des taux élevés de magnésium pouvant constituer 45 % du complexe absorbant de POUNI 3 et jusqu'à 60 % sur BATANGA 1 (cf. tableau XXII).

**TABLEAU XXII**  
Garniture cationique des complexes absorbants et  
instabilité des structures (Is)

SITES	éch.	prof.	Mg/T	Ca/Mg	Fer	Is
POUNI	1	0/10	0,36	1,72	-	5,0
		60/70	0,32	1,52	22,9	-
	2	0/10	0,34	1,38	17,2	2,7
		30/40	0,45	0,98	19,4	2,0
	3	0/10	0,45	1,14	9,5	4,1
		15/25	0,45	1,10	10,9	3,3
		35/45	0,45	1,00	-	3,1
	1	0/5	0,26	1,12	-	1,4
		10/15	0,22	1,11	3,3	1,0
		40/50	0,10	0,81	-	-
SAINT PAUL	2	0/5	0,16	1,35	2,5	2,1
		15/20	0,33	1,06	3,4	3,7
		25/35	0,39	0,95	3,4	4,9
BATANGA	1	0/5	0,60	1,04	6,0	6,5
		7/15	0,43	1,06	-	4,9
		50/60	0,51	0,96	7,2	-

#### Légende

Fer exprimé en "fer total"

Avec des rapports Ca/Mg proches de l'unité, il existe des risques de dégradation chimique des structures : sur BATANGA 1 (0,96 à 1,06), sur POUNI 3 (1,00 à 1,14) et sur POUNI 2, (0,98 à 1,38). Les "moins mauvaises instabilités" structurales de POUNI 2 en surface (Is de 2,0 à 2,7) pourraient être liées aux plus fortes teneurs en fer compensant l'effet négatif des charges excessives en magnésium.

Les argiles de BATANGA 1 sont à dominante smectitique et illitique.

#### IV.3.3. Classification

En s'inspirant des travaux de BOULET (1968) et de BOULET, LEPRUN (1969), pour les différents types de sols présentés précédemment, les classements suivants sont proposés :

• POUNI 1 : intergrade entre "sol peu évolué" (Cl.), non climatiques (S.Cl.), d'érosion (Gr.), régosolique (S.Gr.) et "sol à sesquioxydes de fer (Cl.),

ferrugineux tropical (S.Cl.), appauvri (Gr.), modal (S.Gr.), sur épandages gravillonnaires et altérites ferrallitiques de schistes birrimiens (Fam.)",

• **POUNI 2** : mêmes propositions que dans le cas précédent avec, éventuellement, un accent mis sur le lessivage (présence de cutanes en profondeur).

• **POUNI 3** : sol à sesquioxydes de fer, ferrugineux tropical, peu lessivé, à drainage interne limité en profondeur, sur schistes birrimiens.

• **SAINT PAUL 1** : sol peu évolué, non climatique, d'érosion, lithique, sur grès-quartzites birrimiens.

• **SAINT PAUL 2** : sol à sesquioxydes de fer, ferrugineux tropical, lessivé, à concrétions et hydromorphie, sur colluvions de grès-quartzites birrimiens.

Remarque : ou encore, sol polygénique si l'on considère que l'hydromorphie est actuelle et est liée à l'action d'une nappe dans les altérites schisteuses birrimiennes.

• **BATAंगा 1** : sol brunifié, des pays tropicaux, brun eutrophe, vertique, sur colluvions de chloritoschistes Birrimiens,

Remarques :

• le distinguo entre les sols isohumiques (bruns sub-arides) et les sols brunifiés (bruns eutrophes) est ici relativement subtil : il est lié au fait que l'on se situe près de la limite des 14° N fréquemment utilisée dans les travaux des pédologues cartographes,

• il ne présente pas la totalité des traits pédologiques caractéristiques des Vertisols.

#### ***IV.4. Les sols du site expérimental du lac de LOUMBILA - domaine des sols ferrugineux tropicaux du Centre du Burkina Faso - 12°30' N et 01°24' O.***

Le lac de LOUMBILA, situé à 15 km au nord-est de OUAGADOUGOU, constitue l'un des réservoirs d'eau ceinturant cette ville. L'ensemble de la région est caractéristique de ce que l'on désigne localement du nom de "Plateau Mossi". Le substratum est constitué par les granites calco-alcalins recoupés par des granites migmatitiques plus acides repérés à quelques kilomètres au nord de LOUMBILA (cf. carte de localisation de la figure II.43.).

Le "Plateau Mossi" est, en fait, une surface très largement ondulée avec des interfluvés atteignant 4 à 5 km d'extension latérale et, dans la zone étudiée, des sommets plan-convexes plus souvent occupés par des épandages de nodules ferrugineux que par des cuirasses. Les versants sont rectilignes et très peu pentus (0,5 à 1,5 %), leurs limites aval, où prédominent les processus d'hydromorphie, se repèrent assez facilement par une rupture de pente et une dénivelées de quelques décimètres.

d'hydromorphie, se repèrent assez facilement par une rupture de pente et une dénivelée de quelques décimètres.

La végétation climatique est, comme plus au nord, une savane arborée, mais la dégradation de la strate arborée y est quasi totale du fait de son exportation comme bois de chauffe dans une région à forte densité de population. Les essais se déroulèrent sur des jachères de mil, sorgho et arachide au tiers supérieur du versant (le bas de versant, en partie ennoyé par le lac, est le lieu d'importants aménagements pour une riziculture irriguée).

Les travaux de cartographie pédologique antérieurs (KALOGA, 1968) font mention d'unités correspondant à l'association d'un assez grand nombre de types de sols. Une **première grande association** regroupe des "sols peu évolués d'érosion sur matériaux gravillonnaires et (ou) sur cuirasse ferrugineuse" soit en des zones surélevées, soit dans les régions les plus largement ondulées du plateau Mossi". La **seconde association**, caractéristique des formes plus planes, à moins bon drainage externe, regroupe des "sols ferrugineux tropicaux remaniés sur matériau argilo-sableux", des "sols hydromorphes minéraux à pseudo-gley hérité et à taches et concrétions" ainsi que quelques "lithosols sur cuirasse". L'individualisation, dans ce domaine ferrugineux, de "sols à pseudo-gley hérité" introduit par KALOGA, repose sur des considérations de morphopédogénèses anciennes : les horizons hydromorphes plus ou moins carapacés de ces sols actuellement très proches de la surface, correspondraient aux horizons tachetés profonds d'anciens sols "ferrugineux" érodés et remaniés.

Autour du lac de LOUMBILA, les modelés se subdivisent en 4 segments morpho-pédologiques.

- Un sommet plan convexe assez étroit (quelque 10 m) est marqué par des affleurements gravillonnaires et de rares blocs de cuirasse.

- La zone de raccordement qui était encore facilement identifiable plus au nord, devient très discrète ici et se repère par une légère inflexion de haut de versant avec une concavité sur 5 à 10 m. Puis elle est suivie par une pente rectiligne sur 700 à 1 000 m (2 à 1,5 %). Sur cette pente continue à affleurer une nappe gravillonnaire de moins en moins dense et épaisse vers l'aval.

- Un bas de versant, rectiligne, encore moins pentu (0,5 à 1 %) s'étend sur environ 500 m. Les nappes gravillonnaires s'y enfouissent sous d'assez épais colluvions sablo-argileux. Ce troisième segment est limité à son aval par une discrète rupture de pente,

- La plaine alluviale plane, de 3 à 400 m, est actuellement ennoyée par le lac.

#### *1.4.1. Caractères morphologiques*

Le site de LOUMBILA fut installé sur le second segment, à quelque 150 m du sommet, il se caractérise de la façon suivante.

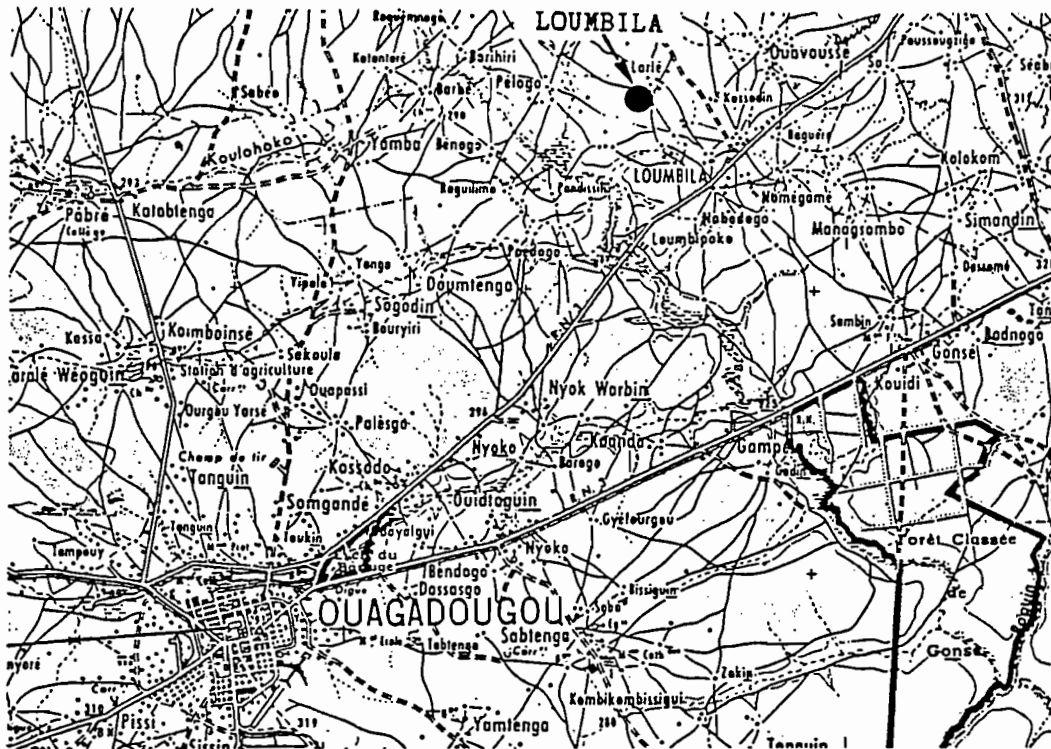


Fig. II.43.: Localisation du site expérimental de LOUMBILA (Burkina Faso).

0 8 km

## LOUMBILA

— porosité totale — capacité au champ  
- - - point de flétrissement ..... profil sec

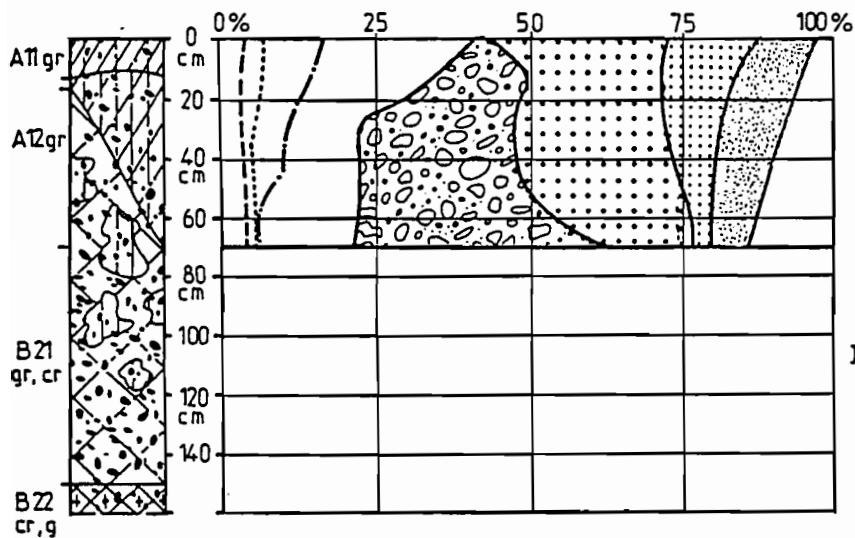


Fig. II.45.: LOUMBILA : profil pédologique et composition volumique.

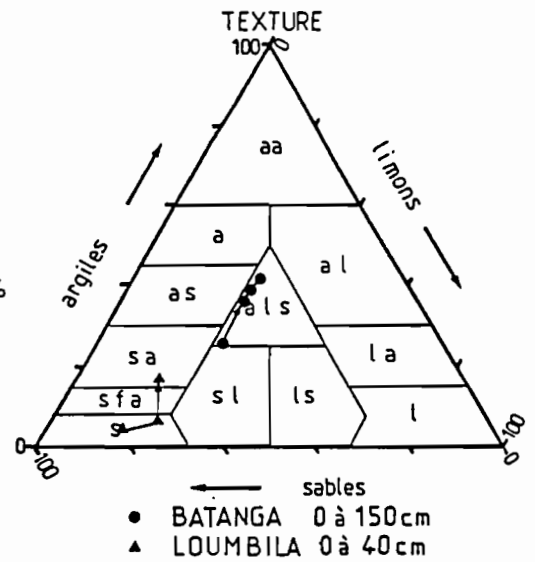


Fig. II.44.: LOUMBILA, BATANGA diagramme des textures.

• La surface du sol présente un épandage assez lâche de nodules ferrugineux de 5 mm de diamètre. Il subsiste çà et là des débris de chaumes de mil finement fragmentés (recouvrement de 5 à 10 %). Des micro-ondulations de 5 cm d'amplitude rappellent les billonnages plus ou moins effondrés de l'année précédente. Entre les éléments grossiers, se développe une pellicule superficielle de 5 à 7 mm d'épaisseur ; une "tornade sèche" précédant les essais de quelques jours a également laissé des dépôts sableux éoliens dans les microdépressions.

Trois ensembles d'horizons constituent le profil pédologique avec des limites souvent très ondulées entre chacun d'eux.

• De 0 à 17 ou 40 cm : horizons gravillonnaires denses, D'abord humifères, bruns, sableux, massifs ou localement particuliers, ces horizons ont une forte porosité texturale et tubulaire sur les 13 ou 15 premiers centimètres qui constituent aussi la limite d'un enracinement relativement dense. Vient ensuite un horizon brun rougeâtre jusqu'à 17 ou 40 cm. Cet horizon est un peu plus argileux, toujours très gravillonnaire avec cependant, par place, une structure discernable en granules (sables enrobés d'argiles) pouvant former des "ponts" entre les éléments grossiers. L'ensemble est encore très poreux.

•• De 17 ou 40 à 150 cm : les horizons sont toujours gravillonnaires mais ils s'indurent irrégulièrement en carapace jaune et rouge vif ménageant des zones meubles, poreuses où migre préférentiellement la matière organique.

•• De 150 à 170 cm (limite de la fosse) : le taux de nodules diminue fortement dans une carapace plus régulièrement indurée et colorée en rose, gris clair, blanc et beige. C'est ce dernier horizon qui pourrait effectivement correspondre aux "pseudo-gley hérités" de KALOGA.

On retiendra donc, toujours en faisant abstraction des différenciations pelliculaires superficielles, une forte porosité au moins jusqu'à 150 cm, confirmée par les descentes profondes des composés organiques colorant le profil et une hétérogénéité de l'induration ferrugineuse.

#### *IV.4.2. Caractéristiques analytiques*

##### **a) Granulométrie**

Son évolution ne peut être perçue que dans la phase non indurée, soit sur 40 ou 50 cm (figures II.44. et 45.), où l'on détecte une augmentation du taux d'argile vers la profondeur (de 8 à 18 %) au détriment des sables fins. Dans cette même tranche, les éléments grossiers occupent environ 35 % du volume de la phase solide. Il s'agit, vers le haut, de nodules très indurés, de 5 à 10 mm de diamètre, arrondis et possédant une cuticule épaisse noirâtre. Vers la base, ces nodules augmentent de diamètre et leurs formes deviennent plus irrégulières mais ils possèdent toujours leur cuticule.

##### **b) Paramètres hydrodynamiques**

La figure II.45. et le tableau XXIII regroupent les caractéristiques hydrodynamiques de la tranche 0 à 50 cm.



**TABLEAU XXIII**  
Capacités hydriques de la tranche 0 - 50 cm  
(exprimée en mm d'eau)

PROFIL	Epaiss. (cm)	Poro. tot.	Macro. poro.	Micro. poro.	Point flétri.	Eau utile	Prof. sec
LOUMBILA 1	0/50	142	82	60	17	43	26

Comme dans le cas de POUNI 2, la porosité totale est fortement influencée par le volume des nodules ferrugineux. Elle passe en effet de 40 à 23 % entre 0 et 25 cm. Les bonnes possibilités de drainage, repérées par les traits morphologiques, se confirment en considérant la macroporosité qui est forte jusqu'à 25 cm (2,4 à 2,0 mm/cm), encore moyenne au-delà (1,3 mm/cm) et s'élargit de nouveau dans l'horizon gravillonnaire carapacé sous-jacent.

La microporosité, importante sur la tranche 0 à 15 cm (1,0 mm/cm) correspondant d'ailleurs au profil racinaire, s'étrangle au-delà, vers 35 cm (0,7 mm/cm) et semble se fermer vers - 55 cm. Comme dans bien des sols sableux, ces limites se déplacent vers des humidités faibles, les réserves hydriques ne seront utilisables par les végétaux que jusqu'à 55 cm, limite au-delà de laquelle l'humectation du sol sera de courte durée et correspondra à la période de ressuyage rapide des averses.

#### IV.4.3. Classification

Comme tous les sols à forte charge en éléments grossiers, le problème qui se pose est celui de choisir le "matériau originel" du sol actuel :

- S'il s'agit de la nappe gravillonnaire, LOUMBILA 1 sera un sol peu évolué (Cl), non climatique (S.Cl), d'érosion (Gr), régosolique (S.Gr), sur épandage gravillonnaire (Fam.),

- S'il s'agit des altérites du granite (découvertes vers 200 cm), il conviendra d'introduire une notion d'hétérogénéité des matériaux en considérant comme horizons II ceux qui se sont différenciés à partir de cette altération ancienne et comme horizons I ceux qui se sont superposés aux horizons précédents par divers processus (\*) c'est-à-dire la nappe gravillonnaire dans le cas présent. LOUMBILA 1, deviendrait alors un sol ferrugineux, tropical, appauvri et remanié, hydromorphe et induré, sur altérites ferrallitiques anciens

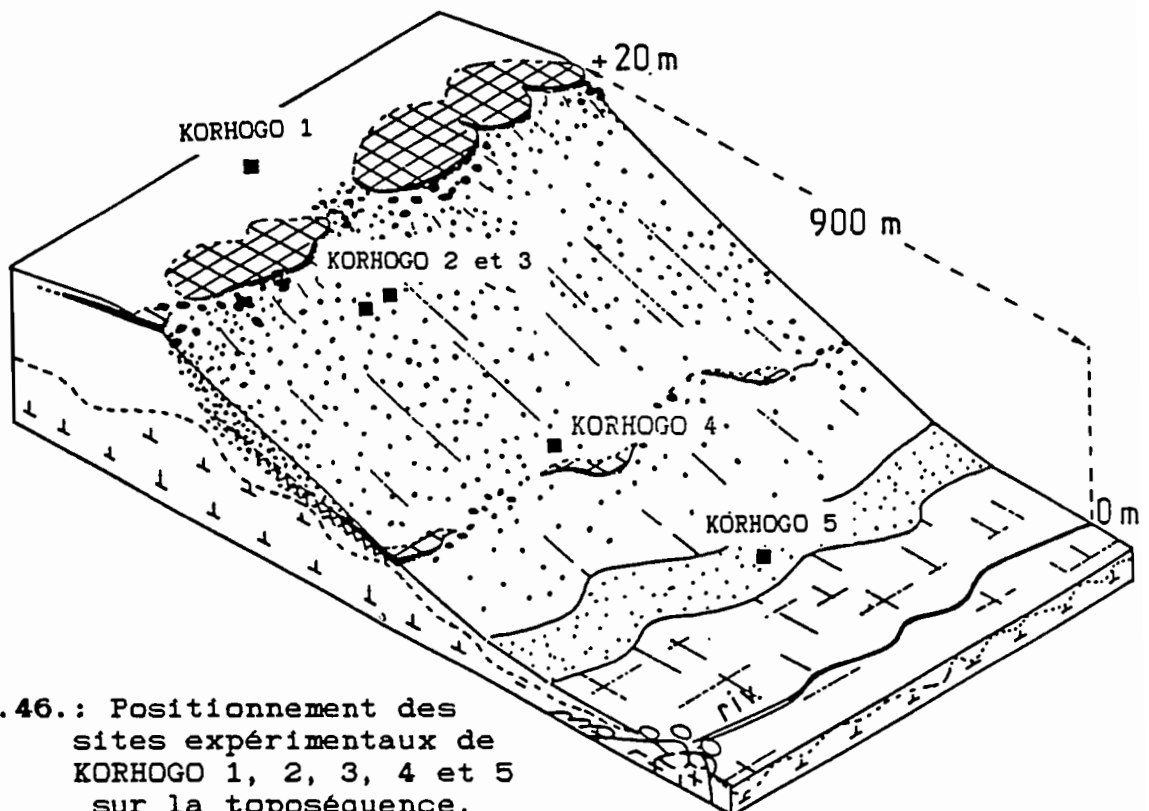
(\*) Remarque : cette seconde conception est d'un "maniement délicat" car elle fait l'amalgame entre des considérations génétiques et purement descriptives... C'est notamment le cas lorsque l'on utilise les termes de "remaniement", "épandage", "nappe", etc., au travers desquels se confrontent les théories allochtonistes et autochtonistes.

**IV.5. Les sols des sites expérimentaux du bassin versant de WARANIENE - KORHOGO - domaine des sols ferrallitiques du nord de la Côte d'Ivoire - 09°25' N et 05°39' O.**

On aborde maintenant des sites installés sur les sols du domaine ferrallitique. Dans le nord de la Côte d'Ivoire, ces sols sont généralement moyennement désaturés en bases avec cependant de sensibles variations de cette saturation en raison de leurs positions topographiques au moins lorsqu'ils sont différenciés sur les roches de la famille du granite.

Le bassin de WARANIENE, de 3,63 km<sup>2</sup>, est situé à 5 km à l'ouest de la ville de KORHOGO. Il est représentatif des régimes d'écoulement de la zone sub-soudanienne et a été longuement étudié par les hydrologues depuis 1962 : il présente la particularité d'appartenir à une région de forte densité de population rurale, où la savane arbustive naturelle a été progressivement remplacée par des cultures vivrières. Il s'agit de cultures en billons (mil, maïs, riz) et en buttes (manioc et surtout igname) dont les champs ont augmenté de 20 à 50 % entre les années 1962 et 1972 : ces champs occupaient, au moment des essais, environ 75 %, le reste du bassin étant couvert par des plantations de Teck et d'Anacardiés (rives droites) et par quelques reliquats de forêts denses traditionnellement mises en réserve comme "bois sacrés" par les habitants des villages avoisinants.

Les travaux de CAMUS, CHAPERON, GIRARD, MOLINIER (1976) et, plus récemment, de GIODA (1983), mettent en évidence une augmentation des capacités d'infiltration du sol avec le développement des cultures se répercutant par un allongement du temps de montée des crues et une réduction des débits maxima.



**Fig. II.46.:** Positionnement des sites expérimentaux de KORHOGO 1, 2, 3, 4 et 5 sur la toposéquence.

. Ce bassin s'inscrit dans la région naturelle des "plateaux du nord" et plus précisément sur un type d'interfluve illustré par le bloc diagramme de la figure II.46. La distance interfluve est parfois délicate à appréhender à cause du gauchissement du plateau, elle oscille entre 700 et 1 000 m. Le talus correspondant à l'affleurement discontinu de la cuirasse est, quant à lui, à environ 500 m de l'axe du marigot. La dénivelée totale ne dépasse pas 25 m dans la partie médiane du bassin. Le profil de cet interfluve présente assez classiquement 5 segments qui sont :

- un plateau plan ou à faible déclivité (0 à 1,5 %) à sols meubles épais, délimité par un talus cuirassé souvent réduit à une zone d'éboulis,

- au talus cuirassé, succède sur environ 30 à 40 m, un versant de raccord concave de 4,5 à 6 % de pente,

- puis un versant rectiligne à légèrement concave s'étendant sur 400 m avec des pentes de 2,5 à 3,5 % (les segments 2 et 3 sont quasi uniformément couverts par des affleurements gravillonnaires provenant d'une concentration de ces éléments par élimination superficielle de la matrice meuble des sols argileux rouges vers l'amont, plus jaunâtres vers l'aval),

- une discrète rupture de pente annonce un étroit segment (20 à 30 m) de matériaux sableux blancs reposant sur des argiles hydromorphes,

- le bas-fond plan, de 70 à 100 m de large, est occupé par des sols hydromorphes minéraux, il correspond au lit majeur du cours d'eau ; des barres granitiques peuvent occasionnellement y affleurer.

Le substratum est un granite calco-alcalin à biotite à fréquentes intercalations de pegmatites. Il a fourni d'importantes altérations kaolinitiques pouvant atteindre 20 à 30 m sous le plateau, leurs épaisseurs s'amenuisent vers l'aval, elles peuvent même disparaître dans le bas-fond.

Les sites expérimentaux furent installés le long d'une toposéquence recoupant la partie médiane du bassin, il s'agit de :

- KORHOGO 1, sur le plateau, à 150 m du talus cuirassé (segment 1),

- KORHOGO 2 et 3 (\*) au tiers supérieur du versant (segment 3),

- KORHOGO 4 en mi-versant, ( toujours sur le segment 3 mais en partie moyen-amont du bassin),

- KORHOGO 5 en bas de versant, en partie moyen-aval du bassin, (segment 4),

- KORHOGO 6 (\*\*) au tiers supérieur du versant, en rive gauche du bassin, sous Anacardier,

---

Remarques :

(\*) KORHOGO 2 et 3 correspondent au même type de sol ayant subi des protocoles différents,

(\*\*) KORHOGO 6 n'a donné lieu qu'à un protocole succinct, non analysé dans cette étude.

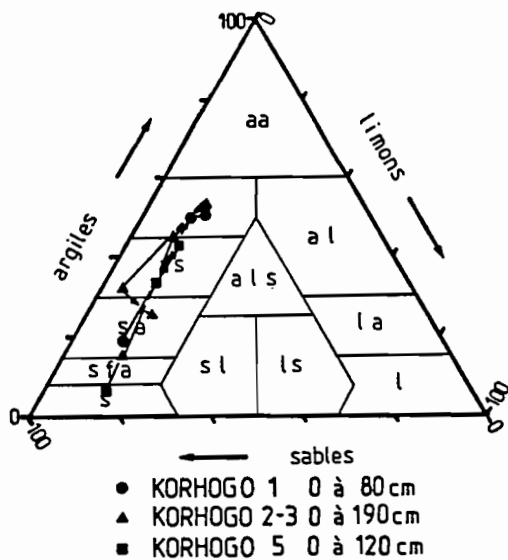


Fig. II.50.: KORHOGO,  
 diagramme des textures.

### KORHOGO 1

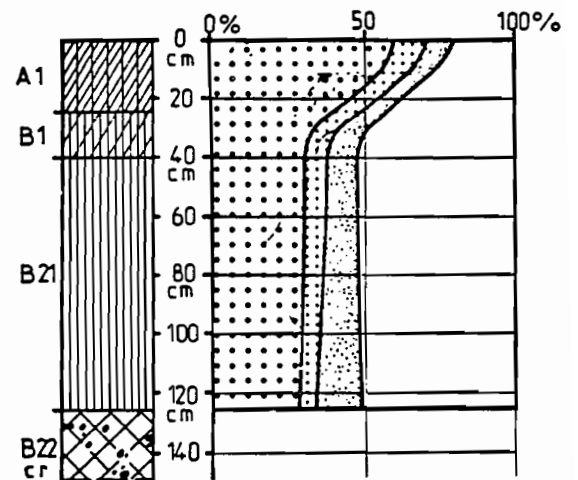


Fig. II.47.: KORHOGO 1,  
 profil pédologique et  
 composition volumique.

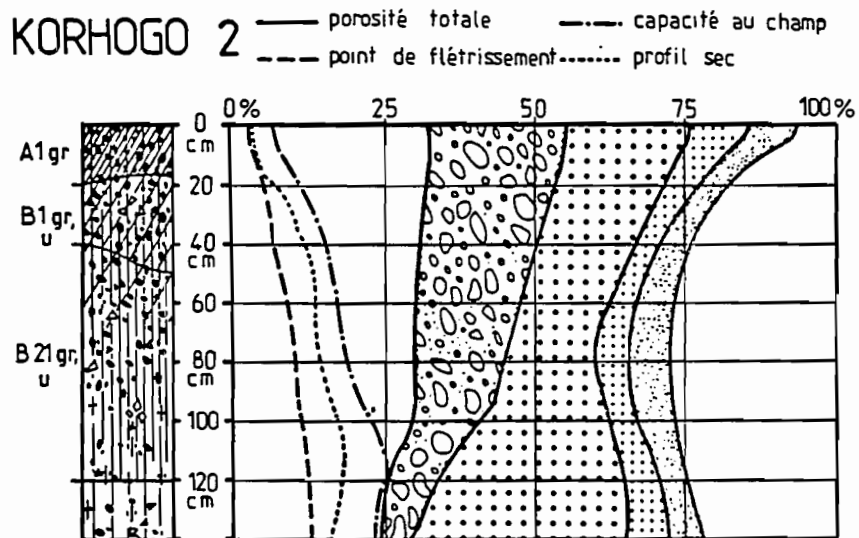


Fig. II.48.: KORHOGO 2 : profil pédologique et composition  
 volumique.

#### IV.5.1. Caractères morphologiques

On ne retiendra que les trois situations les plus représentatives, c'est-à-dire celles des sites KORHOGO 1, 2 et 5 (figures II.47., 48. et 49.).

**KORHOGO 1** : localement le site correspond à une jachère de culture de mil en billons dont il subsiste des ondulations de 140 cm de fréquence et de 10 cm d'amplitude. Environ 10 % de la surface du sol est couverte par des débris graminéens, le reste est nu.

Le profil de sol se résume en trois ensembles d'horizons.

- De 0 à 25 cm : horizons peu humifères, sablo-argileux, brun foncé, massifs, cohérents, à porosité moyennement développée et souvent tubulaire fine. L'enracinement est faible et hétérogène.

- De 25 à 125 cm : série d'horizons minéraux d'abord rouge jaunâtre puis rouge vif, argileux, massifs et cohérents mais, cette fois, à forte porosité tubulaire essentiellement fine. L'enracinement disparaît vers 40 cm,

- A partir de 125 cm, apparaissent des taches rouge grenat et jaunes de plus en plus nombreuses dont l'induration et la coalescence constituent le point de départ d'une carapace ferrugineuse ménageant quelques larges vacuoles emplies d'un matériau meuble jaune pâle.

Ce profil est représentatif du pourtour des plateaux. La différence de texture superficielle traduit plus un appauvrissement qu'un lessivage en colloïdes argileux. Le reste du profil est peu différencié, si l'on excepte la carapace qui apparaît brutalement au dépens d'un horizon tacheté sans phase réductrice bien nette. Vers le centre du plateau, les "recouvrements" argileux meubles sont plus épais et passent à des horizons tachetés non indurés vers 200 ou 250 cm auxquels succèdent d'épais altérites. Vers la corniche, le niveau carapacé se rapproche de la surface puis affleure en une cuirasse peu épaisse (50 à 70 cm) se fragmentant en blocs et cailloux sur le segment 2.

**KORHOGO 2 ou 3** : est situé au tiers supérieur d'un versant de 2,7 % de pente. Ce site se trouve sur une jachère de plus de 5 ans abondamment parcourue par le bétail ; un brûlis récent (fin de saison sèche) y a laissé des touffes de graminées tous les 15 à 20 cm. Le reste de sa surface est couvert à 70 ou 80 % par un épandage gravillonnaire. Le profil pédologique présente les trois ensembles d'horizons suivants.

- De 0 à 45 cm : horizons gravillonnaires (25 % de gravillons en volume), assez humifères (2,7 à 1,5 % de matières organiques), sableux passant progressivement à sablo-argileux. Par rapport à KORHOGO 1, on note l'apparition d'une structure polyédrique fine puis moyenne restant cependant peu développée. Une importante porosité intersticielle sur 15 cm, correspond à la limite d'un enracinement assez dense et homogène.

- De 45 à 120 cm : ensemble d'horizons de moins en moins gravillonnaires (de 20 puis 10 % en volume), texture argilo-sableuse à argileuse vers 80 cm, structure fragmentaire peu développée en polyédres moyens, porosité moyenne vacuolaire à argilanes peu épaisses,

• De 120 à 200 cm : les horizons se tachent de jaune puis de beige clair, la texture redevient sablo-argileuse, la structure se dégrade, la cohésion augmente mais sans induration, la porosité diminue se limitant à des vacuoles larges à argilanes claires, peu épaisses.

Ce profil de sol peut se résumer en un niveau gravillonnaire de moins en moins dense reposant sur des argiles tachetées non indurées. On y note un appauvrissement net en colloïdes argileux et un lessivage aboutissant, vers 80 cm, à un niveau d'accumulation annoncé par les argilanes.

Vers l'aval, on note les modifications progressives suivantes : éclaircissement des horizons B qui passent du rouge jaunâtre au jaune, réapparition d'une induration d'abord discontinue dans le niveau gravillonnaire qui s'amincit, puis continue dans l'horizon tacheté se transformant en carapace vers 60 ou 70 cm. Cette carapace affleure en un liseré discontinu sans rupture de pente vers le quart inférieur du versant (partie moyen-amont du bassin versant). Cette différenciation a d'ailleurs justifié l'adjonction du site expérimental KORHOGO 4 en contrebas des sites KORHOGO 2 et 3.

KORHOGO 5 : vers la partie moyen-aval du bassin, apparaît un segment assez étroit de sols sableux grossiers clairs ceinturant le bas-fond. D'abord réservés au maraîchage (cultures en planches), ces sols furent ensuite de plus en plus utilisés pour les cultures vivrières en buttes (ignames) après les années 1977.

Le profil KORHOGO 5 se résume en deux ensembles d'horizons.

• De 0 à 47 cm : horizons gris clair sans taches, sableux grossiers, à structure particulière puis massive cohérente, forte porosité intersticielle passant à tubulaire moyenne et grossière,

• De 47 à 150 cm : passage brutal à des horizons de pseudo-gley argilo-sableux d'abord brun clair tachés de blanc puis blanc à taches rouilles et brunes ; la structure est massive, la porosité tubulaire est large avec des argilanes jaune pâle.

Ce profil est caractéristique des sols de bas de versant sur granite de toute la région : son extension augmente de façon importante avec la superficie des bassins et son intérêt réside dans les deux types de circulation d'eau qui peuvent y être mis en évidence, en saison sèche et en saison des pluies.

#### *IV.5.2. Caractéristiques analytiques*

##### **a) Granulométrie**

S'agissant d'une toposéquence de sols apparemment différenciés sur la même roche-mère, les variations texturales ne traduiront que des déplacements de colloïdes consécutifs aux appauvrissements ou éventuellement aux lessivages. De fait, l'on remarquera, sur le triangle textural de la figure II.50., que les taux de limons constituent les invariants de transformations jouant uniquement sur les sables et les argiles. Ces taux de limons restent d'ailleurs faibles (environ 10 %) ce qui constitue une des caractéristiques texturales des sols ferrallitiques.

## b) Paramètres hydrodynamiques

D'assez nombreux incidents techniques lors des mesures humidimétriques (sonde à neutrons) ne nous ont permis d'effectuer que les caractérisations volumiques du site KORHOGO 2. L'analyse de sa composition volumique est représentée sur la figure II.48., puis interprétée sur le tableau XXIV.

TABLEAU XXIV

Profil KORHOGO 2 : capacités hydriques des tranches  
0 - 50 - 100 - 150 cm (exprimées en mm d'eau)

PROFIL	Epaiss. (cm)	Poros. tot.	Macro. poros.	Micro. poros.	Point flétri.	Eau utile	Prof. sec
	0/50	159	99	59	26	33	43
KORHOGO 2	0/100	309	154	154	75	79	117
	0/150	438	163	275	138	137	203

La porosité totale est faible dès la surface (3,3 mm/cm sur les 50 premiers centimètres) et continue à décroître en profondeur (2,5 mm/cm pour la tranche 100 à 150 centimètres). Cette évolution est due à la conjonction d'une assez forte charge en éléments grossiers en surface et à la compaction des argiles tachetées dès les 120 cm.

Le profil de la capacité au champ détermine une forte macroporosité en surface, mais celle-ci s'étrangle quasi complètement vers 115 cm, et l'on trouve de 0 à 50 cm : 2 mm/cm, de 50 à 100 cm : 1 mm/cm, de 100 à 150 cm : 0,2 mm/cm.

La gamme d'eau utilisable faible dans le profil racinaire de la strate herbacée (< 0,5 mm/cm), s'élargit progressivement en profondeur pour atteindre et dépasser 1 mm/cm au-delà de 90 cm, ce qui constitue dès lors de très bonnes potentialités.

Ce profil est assez caractéristique du statut hydrique des sols de savanes du Nord ivoirien : en année moyennement "humide", ces sols tamponnent les déficits pluviométriques saisonniers en profondeur mais accentuent, par contre, leurs effets néfastes sur la végétation herbacée en surface. Le profil hydrique reporté sur ce diagramme volumique ne représente pas le profil de pleine saison sèche, que nous faisons habituellement figurer sur les diagrammes des sols des régions plus septentrionales, mais il correspond à un stade de ressuyage d'un sol ayant déjà reçu, au mois de mai, quelques petites averses annonçant la saison des pluies. On y remarquera cependant une dessiccation des 15 premiers centimètres intervenant au bout de quelque 24 heures.

## d) Caractéristiques chimiques

- Sols ferrallitiques bien ou assez bien drainés (KORHOGO 1, 2 et 3)

On constate que les garnitures cationiques des complexes absorbants de KORHOGO 1 (plateau) et de KORHOGO 2 (versant) diffèrent sensiblement de celles des exemples du tableau XVIII (chapitre I de cette seconde partie). En effet, on ne retrouve plus, ici, de distinction nette entre des sols de plateau plus désaturés que des sols de versants. La mise en culture intense et ancienne semble avoir homogénéisé les états des complexes et les horizons B présentent des saturations moyennes voisines. Cette plus longue utilisation des sols des plateaux se traduit aussi par une acidification de leur surface, avec un pH de 5,3 contre 6,5 sur le versant, et une somme des bases nettement plus faibles (3 meq./100 g contre 5 meq./100 g).

Cet "épuiement" des sols de plateau se repère aussi dans des taux de matières organiques nettement plus faibles (0,9 %) alors que les sols de versant restaurés par une jachère naturelle contiennent 2,7 % à 10 cm et encore 1,7 % de matière organique à 30 cm. En effet, dans toutes ces zones à forte pression démo-graphique, la quasi-totalité des déchets végétaux est exportée pour être utilisée comme matériaux divers ou consommée sur place par le bétail.

#### • Sols hydromorphes du segment n° 4

En surface, et jusque vers - 45 cm, le taux de saturation en bases ne présente pas une grande signification étant donné la très faible capacité d'échange des horizons sableux peu humifères (0,4 % de matières organiques). Au-delà, l'augmentation de la capacité d'échange est essentiellement due aux colloïdes minéraux des horizons plus argileux des pseudo-gley.

Bien que ne disposant pas de la totalité des informations analytiques (composition volumique), il reste possible de proposer une prédiction de comportements hydrodynamiques de ces sols en combinant les informations disponibles et les observations de terrain effectuées au moment des essais.

Un drainage profond et relativement rapide se produit au niveau des sols meubles et épais du **centre du plateau**. Ce drainage sera par contre limité sur les sols carapacés et cuirassés, moins épais, caractéristiques de sa **périphérie**.

Il en sera de même sur les **versants** où, du fait de la présence d'argiles tachetées de plus en plus superficielles et de nouveaux carapacements **vers l'aval** (KORHOGO 4), le drainage prendra une composante de plus en plus superficielle et oblique.

**En bas de versant**, les sols de type KORHOGO 5 seront le lieu de deux types d'écoulement.

- En saison des pluies, prévaudra un **écoulement superficiel** provenant de l'épuisement rapide de nappes temporaires parcourant les horizons pédoplasés non indurés (de type A1, B1gr, B2gr de KORHOGO 2), leurs résurgences emprunteront les horizons sableux du bas de versant (de type A1, A21, A22 de KORHOGO 5),

- Pendant la majeure partie de l'année, si celle-ci n'est pas trop déficitaire, un second **écoulement de nappe profonde** essentiellement alimentée par les drainages verticaux des sols du plateau parcourera les altérites.



Cette nappe, en charge sur cette portion de versant, fera résurgence au niveau du segment n° 4, au travers des horizons de gleys et de pseudo-gleys, profitant de fissures les parcourant, à la façon d'un système artésien.

#### *IV.5.3. Classification*

Les propositions qui suivent tiennent compte de l'adaptation de la C.P.C.S. (1967) utilisée par les pédologues cartographes de Côte d'Ivoire.

- Sur les plateaux se juxtaposent : des sols ferrallitiques (Cl.), moyennement désaturés (S/Cl.), typiques (Gr.), modaux (S/Gr.), lorsque les horizons B restent meubles sur une grande profondeur, et, vers la périphérie, des sols ferrallitiques, moyennement désaturés, typiques, indurés, lorsque la cuirasse apparaît à moins de 80 cm de profondeur. Le profil KORHOGO 1 appartiendrait donc au groupe "typique", sous-groupe "modal", l'ensemble se rattachant à une famille de sols différenciés sur granites calco-alcalins,

- Sur le versant, il s'agira en amont, de sols ferrallitiques, moyennement désaturés, remaniés, modaux (KORHOGO 2), à cause de l'accumulation superficielle de gravillons ferrugineux, puis, vers l'aval, de sols ferrallitiques, moyennement désaturés, remaniés, indurés (KORHOGO 4), à cause du carapacement soit de niveaux gravillonnaires, soit des argiles tachetées à moins de 80 cm,

- En bas du versant, et vers la partie moyen-aval du bassin, le sol de type (KORHOGO 5) serait hydromorphe, minéral, à pseudo-gley (ou à gley de profondeur), lessivé, sur matériau colluvial provenant de granites. On remarquera que l'intitulé "lessivé", utilisé au niveau du sous-groupe n'est pas satisfaisant car il suppose une évolution "in situ" des horizons sableux superficiels ce qui ne représente qu'une hypothèse parmi d'autres.

#### *IV.6. Les sols des sites expérimentaux du bassin versant de SAKASSOU - domaine des sols ferrallitiques du Centre de la Côte d'Ivoire - 06°33' N et 04°49' O*

Le bassin versant de SAKASSOU situé dans la partie méridionale du V Baoulé, drainé par un affluent rive droite du N'Zi a servi de cadre à des opérations de recherches multidisciplinaires entreprises dès l'année 1971 par des Géologues, Géographes, Hydrologues, Botanistes et Pédologues de l'ORSTOM, du SCRS (Centre Suisse de Recherches Scientifiques\*).

Ces différentes collaborations, coordonnées par DELVIGNE\*\* et AVENARD\*\*\*, s'appuyaient sur des recherches géodynamiques, géomorphologiques et géochimiques et visaient à une étude de la genèse et de la répartition des formations superficielles. Les causes actuelles et anciennes y furent prises en compte, ainsi que leurs effets comparés.

---

\* le SCRS, placé sous la responsabilité de la Société Helvétique de Sciences Naturelles possède des laboratoires accueillis sur le Centre ORSTOM d'Adiopodoumé,

\*\* Géologue de l'ORSTOM\*\*\* Géographe de l'ORSTOM, Professeur à Strasbourg.

Parmi ces recherches, il convient de citer particulièrement : l'étude du régime des nappes et de l'évolution de leurs compositions chimiques (LENOIR, 1977, 1979), l'étude hydrologique du grand bassin versant de SAKASSOU (26,2 km<sup>2</sup>) et de deux sous-bassins représentatifs Est (55,2 ha) et Ouest (63,0 ha) dont la synthèse fut réalisée par LAFFORGUE (1982), l'étude pédologique et géomorphologique, assortie d'une restitution cartographique à 1/5 000ème de RIEU (1972).

Les deux campagnes de simulations de pluies en 1975 et 1976, sans s'inscrire dans ce vaste programme, ont cependant bénéficié des informations collectées par ces auteurs et ont apporté une contribution à l'étude de l'érosion et de la susceptibilité au ruissellement des principaux types de sols du petit bassin est.

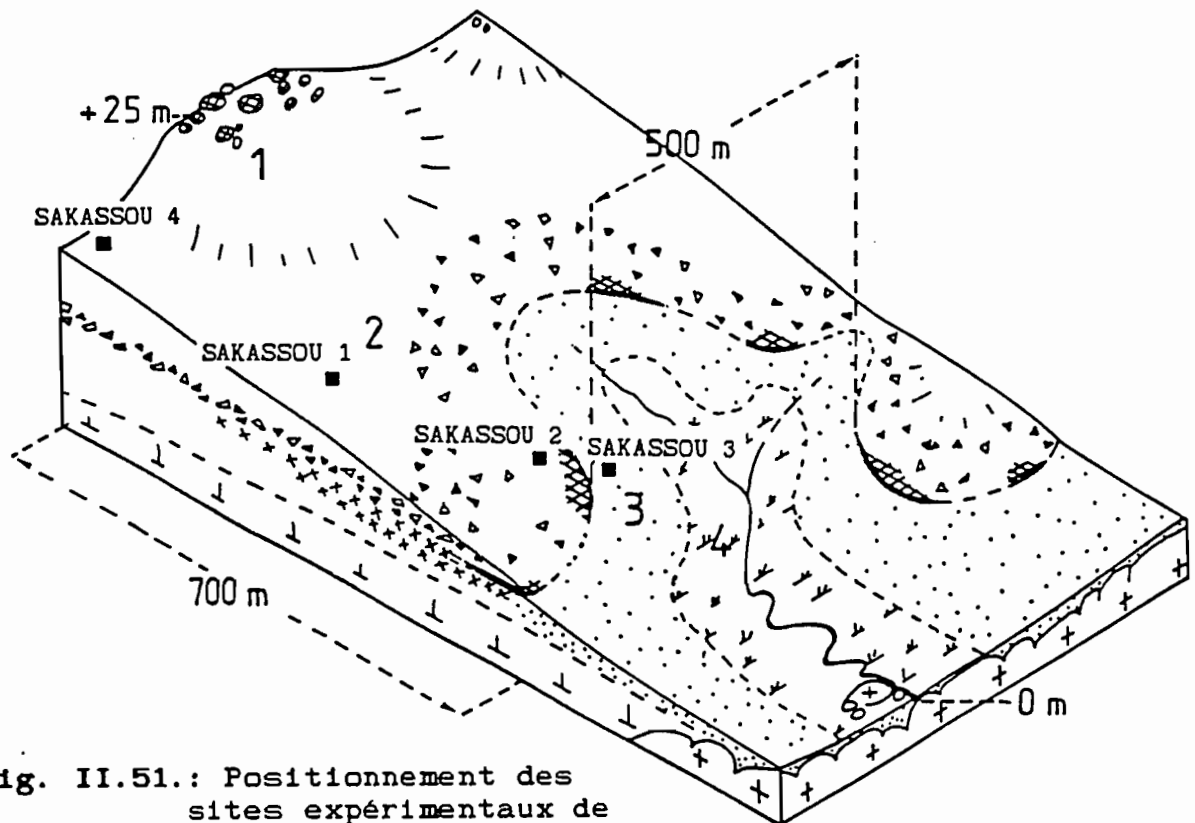


Fig. II.51.: Positionnement des sites expérimentaux de SAKASSOU 1, 2, 3, 4 sur la toposéquence.

Le bloc diagramme de la figure II.51. permet de localiser les différents sites expérimentaux. Ceux-ci furent installés dans un paysage formant transition entre les "plateaux du nord" et l'extrême morcellement des "collines du Sud". On découvre en effet, localement, des interfluvies de quelque 1 000 à 1 200 m d'extension et de 20 à 25 m de dénivellée. Ils se succèdent en un moutonnement de collines surbaissées à sommets plan-convexes. Le profil des versants est assez complexe en raison des proportions relatives occupées par l'une ou l'autre des trois unités géomorphologiques couramment retenues dans cette région par AVENARD et al. (1971, 1972) ; PELTRE (1973, 1977) ; RIEU (1972). Ces unités géomorphologiques, définies par leurs évolutions historique est leurs contenus sols, coïncident plus ou moins étroitement avec les segments paysagiques suivants.

• 1 - Le segment de sommet correspond à une "butte résiduelle polygénique du haut glacis". Plan-convexe, elle comporte, dès sa surface, ou sous moins de 50 cm de recouvrements meubles, **rouges**, un niveau d'éléments grossiers (stone-line) composés de nodules ferrugineux et surtout de graviers et cailloux de quartz corrodés et ferruginisés atteignant fréquemment 2 m de puissance. Ce niveau est le plus souvent induré en carapace ou en cuirasse ferrugineuse sur 100 à 150 cm. Viennent ensuite 7 à 8 m d'argiles tachetées puis 5 à 10 m d'altérites à structure géologique conservée. De ce fait la lithomarge de la roche saine peut très bien se trouver à une cote inférieure à celle du thalweg actuel.

• 2 - Le deuxième segment, de profil rectiligne ou convexo-concave correspond au "versant de raccord" et peut constituer à lui seul la moitié de l'extension de l'interfluve ; en sa partie **amont**, on y retrouve la même nappe d'éléments grossiers qu'en sommet, mais non indurée. Cette nappe est recouverte de 50 à 200 cm de matériaux meubles argilo-sableux **ocres**, qui forment, pour partie, la matrice de la nappe de gravats. Les argiles tachetées sous-jacentes deviennent de plus en plus hydromorphes vers l'**aval** où l'épaisseur et la densité des éléments grossiers s'amenuisent ; une nouvelle induration envahit cette portion du versant, elle est limitée en profondeur par les altérites hydromorphes.

• 3 - L'affleurement fréquent de la carapace précédente, déblayée de ses couvertures meubles, forme un tireté cuirassé limitant sans rupture de pente notable un nouveau segment rectiligne à légèrement concave de 150 m d'extension. Ce segment correspond à la "basse entaille" ; il est occupé par des sables jaune clair puis **blancs** reposant en une limite nette sur des argiles elles-mêmes de plus en plus décolorées vers l'aval (horizons de pseudo-gley et de gley) qui surmontent des altérites graveleux hydromorphes.

• 4 - L'"entaille actuelle", généralement signalée par un petit talus, correspond au lit majeur des cours d'eau élémentaires.

On remarquera que les segments 2 et 3 rappellent, au moins, en ce qui concerne la différenciation des matériaux, les segments 3 et 4 de la toposéquence du bassin versant de WARANIENE-KORHOGO. On notera également sur le bloc diagramme de la figure II.51., l'envahissement du modelé par les deux derniers segments qui peuvent représenter 50 % de l'interfluve.

Toute la région est située sur les granites baoulés dont les affleurements en "dos de baleine" ou "chaos", fréquents en bas de versant, affectent l'orientation nord nord-est, sud sud-ouest.

D'une manière générale, on remarque : des reliquats, en sommet (segment n°1) de savanes à *Andropogonées* arborées puis arbustives en haut de versant (segment n°2), puis des savanes à *Loudetia* et à Roniers en bas de versant (segment n°3) ; le thalweg étant, quant à lui, occupé par une savane hydromorphe ou par une forêt ripicole. Les savanes brûlent tous les ans, l'explication des feux devant plutôt être cherchée dans la chasse au petit gibier que dans la préparation des terres de culture.

Trois sites expérimentaux ont été installés le long d'une toposéquence de 450 m dans la partie médiane du bassin versant Est. Un quatrième site (SAKASSOU 4) fut retenu à l'amont du bassin sur un ensellement entre deux buttes résiduelles pour y suivre le comportement des recouvrements meubles, rouges, épais.

#### *IV.6.1. Caractères morphologiques*

**SAKASSOU 1** : ce site appartient au segment 2, légèrement sous la crête séparant les bassins Est et Ouest. Localement la pente atteint 2,5 %. Les brûlis de saison sèche y ont laissé des touffes de graminées plus ou moins consommées tous les 15 à 20 cm. Ailleurs le sol est couvert par environ 40 % de turricules de vers de terre, fragmentés en granules organo-minéraux noirâtres de 15 à 25 mm de diamètre qui constituent les reliquats d'une activité de saison des pluies (ces déjections représentent 10 à 15 kg/m<sup>2</sup>).

Le profil du sol caractéristique de ce site se résume de la façon suivante (figure II.52.).

- De 0 à 60 cm : série d'horizons meubles, humifères sur 48 cm et passant de teintes grisâtres à des nuances brunâtres ; texture sableuse à sablo-argileuse ; structure fragmentaire nette et fine développée sur 7 cm. au-delà, structure massive, très cohérent ; porosité tubulaire fine abondante; chevelu racinaire dense sur 30 cm disparaissant totalement au-delà de 50 cm.

- De 60 à 150 cm : niveau graveleux et caillouteux constitué d'une majorité de fragment de quartz, envahissant des horizons rouge jaunâtre qui se tachent à partir de 120 cm en jaune pâle et rouge vif; pas de traces d'induration; ensemble sablo-argileux de structure difficilement discernable à cause de la charge en éléments grossiers.

Ce profil de sol est caractéristique des amonts du versant de raccord. Le matériau meuble de recouvrement est appauvri en argile sur une grande profondeur, les taux maximums apparaissant vers 130 cm. Cet appauvrissement ne semble pas être compensé par l'activité des vers car ceux-ci ne remanient que les horizons dépourvus d'éléments grossiers. La porosité est importante, au moins dans les horizons meubles.

**SAKASSOU 2** : site à 150 m en aval de SAKASSOU 1 et à quelque 20 m en amont du liseré cuirassé délimitant les segments 2 et 3. Localement, la pente atteint 3,7 % et le versant est légèrement convexe. Comme sur le site précédent, les brûlis laissent subsister quelques touffes de graminées. L'activité des vers y est encore plus importante, avec environ 70 % de la surface du sol couverts par les turricules. Les affleurements de la nappe graveleuse, peu dense au niveau du site, se généralisent 15 m vers l'aval.

Le profil de sol est le suivant (figure II.53.).

- De 0 à 10 ou 20 cm : recouvrement meuble, peu d'éléments grossiers, humifère, brun grisâtre, sableux faiblement argileux, structure fragmentaire nette en grumeaux fins pouvant se souder en surstructures polyédriques, forte porosité interagrégat avec de nombreux vésicules contenant des sables déliés, blanchis. Le chevelu racinaire est abondant.
- De 10 ou 20 à 120 cm : nappe de graviers et cailloux de quartz 75 %) et de nodules ferrugineux (25 %). Contrairement au cas précédent, la charge en éléments

grossiers diminue avec la profondeur. La matrice meuble est humifère, brune jusqu'à 75 cm puis devient rouge au-delà. La texture passe de sableuse faiblement argileuse à argilo-sableuse vers 1 m avec un net appauvrissement vers 55 cm. La structure reste discernable, elle forme des ponts grumeleux entre les éléments grossiers. Il en résulte une très forte porosité intersticielle et également tubulaire, sans argilanes. Le chevelu racinaire reste dense jusqu'à 75 cm.

- De 120 à 150 cm : les éléments grossiers tendent à disparaître. La matrice meuble devient rouge à taches jaunes, argilo-sableuse à structure massive : cohésion importante, forte porosité tubulaire large et très large, épaisses argilanes sur les plus gros tubes,

- De 150 à 175 cm (limite fosse) : induration de l'horizon tacheté en une carapace largement vacuolaire et tubulaire, celle-ci affleure en cuirasse à quelque 15 à 20 m en aval.

Ce profil est surtout caractérisé par une très importante porosité, d'abord d'origine structurale puis ensuite tubulaire dans les horizons d'accumulation argileux. Il en résulte une profonde incorporation de composés organiques, jusqu'au moins 75 cm, et un enracinement également important malgré la charge en éléments grossiers. La carapace est elle-même poreuse.

**SAKASSOU 3** : situé au niveau de la basse entaille, sur une portion de versant rectiligne de 4,5 % de pente. Les brûlis de saison sèche ont également parcouru ce site. On ne distingue plus d'activité des vers, et l'orientation des débris végétaux indique un ruissellement important.

Le profil du sol représentatif se présente de la façon suivante (figure II.54.).

- De 0 à 20 ou 25 cm : série d'horizons humifères gris, sableux grossiers, particuliers massifs et cohérents; porosité texturale mais aussi tubulaire avec des revêtements organiques et des remplissages de sables déliés blanchis; chevelu racinaire dense.

- De 25 à 125 cm : série d'horizons lessivés passant du brun jaunâtre au gris clair avec un niveau tacheté entre 50 et 70 cm d'abord par des composés organiques puis, vers la base, par des sesquioxides de fer; texture sableuse fine et grossière; structure massive, cohésion hétérogène liée à des différences de tassement ou à des hétérogénéités dans l'exportation de la matrice colloïdale; forte porosité tubulaire fine et moyenne à revêtements sesquioxides.

- De 125 à 155 cm : pseudo-gley gris clair taché de jaune, texture hétérogène avec juxtaposition de sables grossiers et de zones à accumulations préférentielles d'argiles, structure massive, porosité tubulaire large à épaisses argilanes blanchâtres.

- Au-delà de 155 cm : cailloux et blocs de granites altérés en milieu hydromorphe, quelques cailloux de quartz non corrodés, arène sablo-graveleuse de quartz et feldspaths devenus "crayeux", lames plus argileuses, assez peu de dépôts sesquioxides.

Ce profil rappelle celui du bas de versant de WARANIENE-KORHOGO (KORHOGO 5), avec des horizons sableux vidés de toute matrice colloïdale et une

-accumulation argileuse dans les horizons hydromorphes sous-jacents. On remarquera particulièrement, ici, les deux niveaux d'oxydo-réduction, l'un en milieu "filtrant", l'autre en milieu plus compact.

**SAKASSOU 4** : ce site a été aménagé près de la limite amont du bassin, sur un ensellement entre deux buttes résiduelles du "haut glacis" et sur des pentes oscillant entre 3 et 4 %.

La fosse, creusée jusqu'à 2 m, présente un profil homogène avec, sur les 45 premiers centimètres, des horizons humifères gris-brun foncé passant ensuite à des horizons minéraux rouge jaunâtre sans taches et sans accumulations d'éléments grossiers. La texture argilo-sableuse, la structure fragmentaire peu nette, polyédrique fine et très fine, la porosité moyennement développée et essentiellement tubulaire fine, constituent autant de traits caractéristiques des sols ferrallitiques typiques. L'étude de RIEU (1972), montre que sous ces "recouvrements" meubles, apparaissent vers 250 cm des gravats quartzeux emballés dans un matériau versicolore annonçant les horizons d'argiles tachetées typiques vers 300 cm.

#### *IV.6.2. Caractéristiques analytiques*

##### **a) Granulométrie**

Le diagramme de la figure II.55. montre une seule famille texturale où, pour des taux de limons à peu près constants (# 10 %) sur l'ensemble des horizons des différents sols, toutes les différenciations porteront sur des migrations et des accumulations d'argile.

L'appauvrissement prédomine en sommet de versant avec, comme particularité, une augmentation cependant progressive des taux d'argile en profondeur. L'absence d'inflexion nette doit probablement être attribuée aux intenses remaniements des 60 premiers centimètres par la faune du sol (vers et termites) en période humide.

Vers la mi-versant, se manifeste par contre un lessivage plus caractéristique, avec une vidange de la matrice argileuse entre 35 et 70 cm et une accumulation vers 100 cm à partir desquels apparaissent des argilanes dans les porosités de diamètre supérieur à 1 mm. Ce qui est remarquable dans ce cas n'est pas d'ailleurs pas tellement ce "ventre" d'accumulation d'argiles, mais plutôt la très importante baisse de son taux (facteur 4,3) dans la nappe de gravats par rapport à la surface. Tout ceci suggère plus une "érosion interne" par épuisement latéral qu'un entraînement résultant des seules circulations verticales. La cause de cet hyperlessivage pourrait être le rapprochement de deux milieux de porosités très différentes : nappe de gravats particulièrement nombreux et carapace sous-jacente limitant les infiltrations, donc concentrant plus superficiellement les écoulements.

Les sols de la basse entaille présentent, par rapport à ceux des versants, une hétérogénéité texturale assez abrupte. En effet, ils sont exactement limités en amont par le liseré cuirassé et ils présentent eux-mêmes une limite texturale nette à 125 cm entre les sables grossiers clairs et les

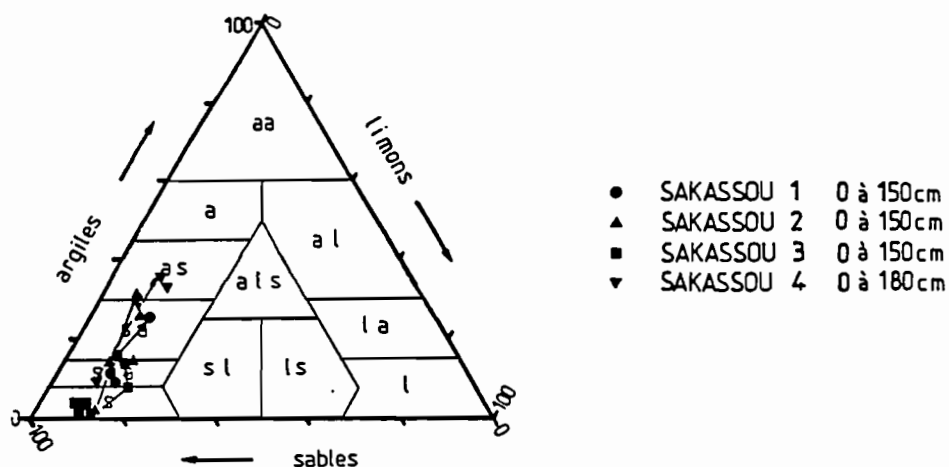


Fig. II.55.: SAKASSOU, diagramme des textures.

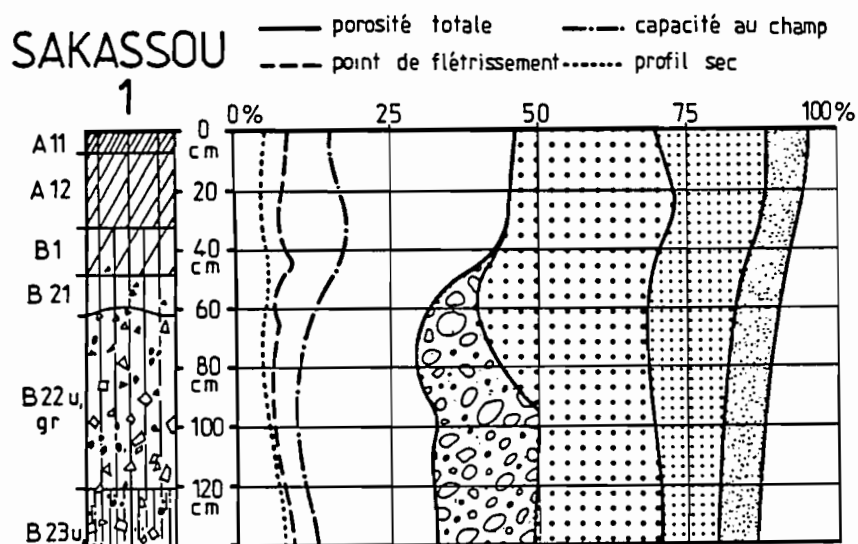


Fig. II.52.: SAKASSOU 1, profil pédologique et composition volumique.

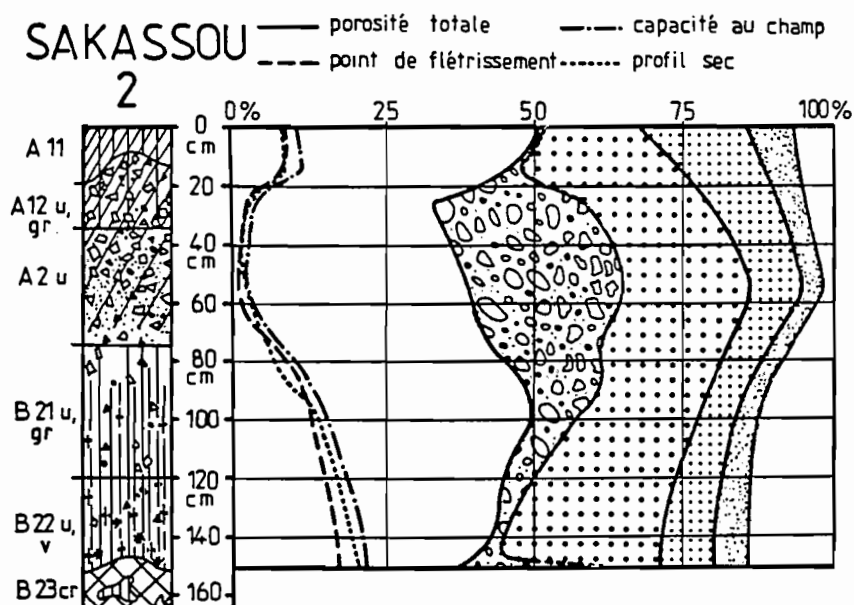


Fig. II.53.: SAKASSOU 2, profil pédologique et composition volumique.

argiles sableuses tachetées sous-jacentes. Ces sols auraient, selon RIEU (1972), une "origine colluviale", hypothèse qu'il étaye par les études morphoscopiques, minéralogiques, et granulométriques des sables. Il faut enfin souligner un rapport sables fins/sables grossiers particulièrement élevé dans les horizons A<sub>2</sub> (0,7 à 0,8) par rapport à l'amont (0,5), différenciation qui sera retenue pour expliquer le statut hydro-gazeux de ces sols.

#### b) Paramètres hydrodynamiques

Les compositions volumiques des profils SAKASSOU 1, 2 et 3 sont représentées sur les figures II.52., 53. et 54. et interprétées sur le tableau XXV.

TABLEAU XXV

Profils SAS 1, 2 et 3 - Capacités hydriques des tranches  
0 - 50 - 100 et 150 cm (exprimées en mm d'eau)

Profil	Epais. (cm)	Poro. tot.	Macro. poro.	Micro. poro.	Point flétr.	Eau utile	Profil sec
SAKASSOU 1	0/50	224	137	87	41	46	24
	0/100	380	234	146	72	74	48
	0/150	544	338	206	111	95	82
SAKASSOU 2	0/50	203	170	33	26	6	27
	0/100	425	348	77	62	15	64
	0/150	649	473	176	141	35	153
SAKASSOU 3	0/50	224	138	86	22	63	14
	0/100	433	230	203	34	169	56
	0/150	623	306	317	57	260	156

**SAKASSOU 1** : sa porosité totale est moyenne à forte sur les 50 premiers centimètres (4,4 mm/cm) puis s'affaiblit avec l'accumulation d'éléments grossiers vers 60 cm. Il en résulte une porosité faible jusqu'à 150 cm (environ 3,2 mm/cm). Le profil de la capacité au champ subit des inflexions liées principalement à l'incorporation des composés humiques, aussi la microporosité est-elle forte de 0 à 50 cm (1,8 mm/cm) puis décroît ensuite (1,2 mm/cm).

Il s'ensuit une macroporosité forte à très forte sur l'ensemble du profil (2,7 puis 2,0 mm/cm) : l'eau de gravité devrait drainer facilement sur toute l'épaisseur du sol et ce, même dans l'horizon tacheté.

Les réserves utilisables sont importantes sur le premier tiers du profil avec environ 1 mm/cm, ceci explique l'épaisseur et la densité du profil racinaire. Elles s'affaiblissent ensuite (0,5 à 0,4 mm/cm). L'ensemble de ces caractéristiques détermine un statut de sol bien drainant mais dont les capacités hydriques sont surtout favorables aux végétations à enracinement superficiel. Le profil hydrique de saison sèche, reporté sur ce diagramme, est



presque rectilinéaire avec une ultradessication importante ne laissant prévoir aucune accumulation profonde.

**SAKASSOU 2** : la porosité totale, très forte dans l'horizon humifère A 11, subit ensuite des fluctuations liées aux taux d'éléments grossiers avec une fermeture vers 25 cm ou 30 % du volume du sol sont occupés par ces éléments grossiers. Elle augmente ensuite progressivement jusqu'à 95 cm, puis se referme au niveau des argiles tachetées.

La capacité au champ traduit, quant à elle, les variations de teneur en colloïdes organo-minéraux sur 35 cm, puis minéraux en profondeur avec un important déport vers les faibles humidités volumiques dans l'horizon lessivé A 2 u. Il en résulte une macroporosité exceptionnellement forte sur l'ensemble du profil (3,5 mm/cm sur le premier mètre). Le drainage profond des eaux de gravité ne deviendra problématique qu'au niveau de la carapace qui semble cependant poreuse.

L'humidité au point de flétrissement suit exactement le profil des taux d'argile et se trouve aussi déportée vers de très faibles humidités dans l'horizon A 2 u. Elle détermine alors une gamme d'eau utilisable extrêmement "pincée", au moins sur le premier mètre (0,1 à 0,2 mm/cm).

En saison des pluies, ce sol, drainant, se comportera comme un milieu physiologique sec sauf dans le cas de séquences pluvieuses suffisamment rapprochées permettant une redistribution continue des eaux de drainage. Dans le cas contraire, la dessication interviendra très rapidement. On ne connaît pas les caractéristiques hydriques de la carapace. Cependant, contrairement à ce qui avait été observé sur SAKASSOU 1, le profil de fin de saison sèche reporté sur le diagramme ne présente une ultradessication qu'au-dessus de 95 cm. Il est donc possible qu'existent des remontées capillaires au dépens d'un réservoir plus profond.

**SAKASSOU 3** : la porosité totale, très importante en surface (4,7 mm/cm de 0 à 15 cm), connaît deux constriction : l'une à 65 cm au niveau de l'horizon A 22 g, l'autre à 125 cm dès l'apparition du pseudo-gley. Dans ce dernier cas, la diminution correspondant à des modifications texturales et structurales est facile à concevoir. Elle est, par contre, plus délicate à interpréter dans l'horizon A 22 g dont la texture ne diffère guère de celle des horizons immédiatement sus- et sous-jacents : sa porosité tubulaire y reste importante, la porosité intersticielle pourrait être plus réduite que celle des horizons voisins à cause des imprégnations sesquioxydiques et des tassements signalés dans l'examen morphologique.

La capacité de rétention suit l'évolution inverse de celle des taux de colloïdes et l'on note son déport vers de fortes humidités volumiques ; ce qui, de prime abord, apparaît surprenant du fait de la texture sableuse et d'une structure particulière à massive. L'explication peut être texturale : d'une part le rapport sables fins/sables grossiers y est plus élevé que sur les versants, d'autre part, l'étude du classement granulométrique (RIEU, 1972 ; PELTRE, 1977) montre que le mode de diamètre se situe aux environs de 200  $\mu$  qui est suffisamment petit pour pouvoir déterminer des diamètres de capillaires de 50  $\mu$  (hypothèse d'un empilement cubique de sphères).

Comme les humidités au point de flétrissement sont, par contre, faibles, car essentiellement liées aux taux de colloïdes, la gamme d'eau utilisable est exceptionnellement importante sur l'ensemble du profil avec des valeurs atteignant 2 mm/cm

Normalement, l'alimentation hydrique devrait être assurée une grande partie de l'année à partir des remontées capillaires provenant des altérites. Ceci apparaît sur le profil hydrique de fin de saison sèche reporté sur la figure II.54. où l'on distingue aussi une rupture vers 40 cm.

Compte tenu des informations précédentes, la séquence connaît le comportement suivant.

- Drainage vertical important et profond en amont du versant de raccord (SAKASSOU 1), où les taches profondes seraient héritées de pédogénèses antérieures.

- Drainage également important en aval de ce versant de raccord (SAKASSOU 2), mais, la carapace constitue un frein au drainage profond, ou tout au moins détermine un niveau de contrôle de la conductivité hydrique. Il en résulte, pour des séquences pluvieuses rapprochées, l'apparition d'une composante latérale des écoulements qui serait à l'origine de ce que nous avons nommé "érosion interne" de l'horizon A 2 u entre 40 et 70 cm (où l'exportation de la phase colloïdale est également facilitée par la texture très grossière de la matrice, ces colloïdes s'accumulent alors en profondeur (B 22 u v) vers l'aval).

- En bas de versant (SAKASSOU 3), on retrouve une situation qui rappelle beaucoup celle des sols du bassin de WARANIENE-KORHOGO avec deux types d'écoulements : l'un latéral, de flux rapide, ayant pour plancher les horizons de pseudo-gley, transitant dans les horizons lessivés, l'autre profond alimentant la nappe de bas-fond et dont les variations de niveau s'enregistrent dans l'horizon A 22 g (où précipitent les oxydes de fer). Selon LAFFORGUE (1982), cette dernière nappe "serait temporaire, de faible puissance et s'assècherait rapidement en quelques semaines après les ultimes pluies de novembre".

### c) Stabilité de la structure

Des échantillons d'horizons superficiels ont été soumis aux deux séries de test de HENIN et MONNIER (1956), les résultats obtenus amènent les commentaires suivants.

- Les taux d'agrégats récupérés restent faibles sur SAKASSOU 1 et 2, (fig n° II.56), leur cohésion étant surtout assurée par les ciments argilo-humiques dans les horizons superficiels, mais, comme leurs teneurs en matière organique restent néanmoins faibles (1,1 à 1,7 % en surface et 0,8 à 1,3 à 25 cm), les taux d'agrégats obtenus après pré-traitement au benzène sont faibles. La cohésion est insignifiante sur les sols hydromorphes de la basse entaille (SAKASSOU 3) où ce sont les taux de colloïdes minéraux qui sont alors trop faibles (1,2 % de matière organique mais seulement 3,7 % d'argile) pour permettre l'agrégation des sables.

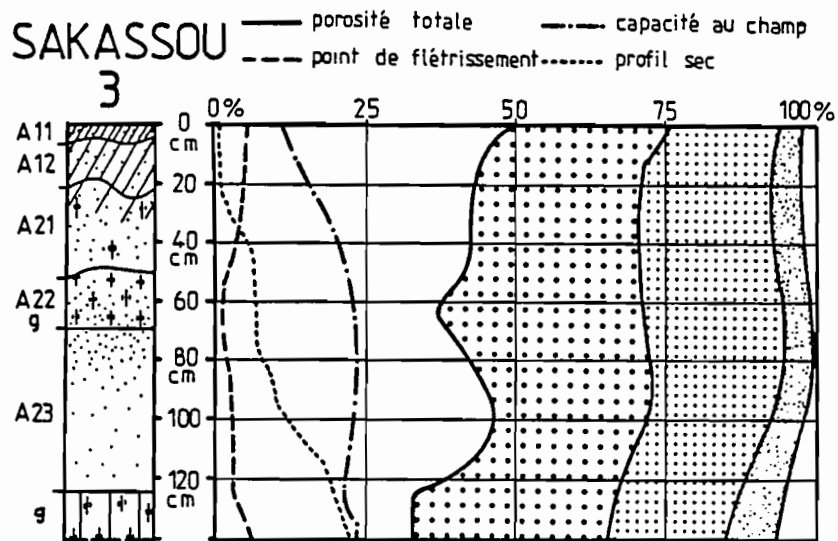


Fig. II.54.: SAKASSOU 3, profil pédologique et composition volumique.

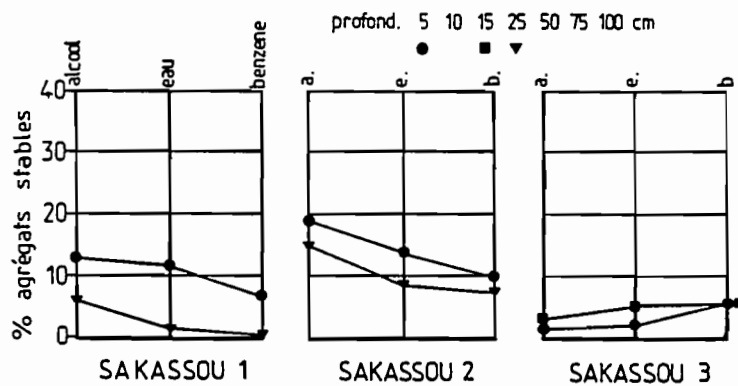


Fig. II.56.: SAKASSOU 1, 2, 3, agrégats stables aux tests de HENIN et MONNIER (1956).

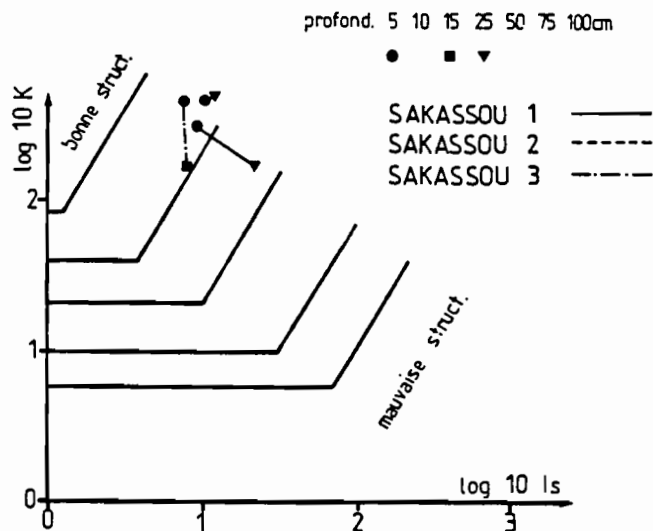


Fig. II.57.: SAKASSOU, relation instabilité structurale-vitesse de percolation et classement des structures.

• Concernant la relation entre la vitesse de filtration et l'instabilité structurale, (figure II.57.), les valeurs de l'instabilité ( $I_s$ ) ne sont faibles ( $\approx 1,0$ ) qu'en raison du faible taux d'éléments dispersables de diamètre  $< 20 \mu$  ; la vitesse de filtration est élevée ( $\approx 40 \text{ cm/h}$ ) car la dispersion du ciment colloïdal est rapide et il ne peut y avoir de colmatage de la matrice lors de son hydratation. Le classement dans les "bonnes structures" est donc sujet à caution car il n'est déterminé que par le test de filtration.

#### d) Caractéristiques chimiques

- Sols ferrallitiques du versant (SAKASSOU 1, 2 et 4)

La garniture cationique des complexes absorbants présente des évolutions parallèles avec une somme des bases :

- maximale en surface, ce qui est une caractéristique des sols de savane parcourus quasi annuellement par les feux de brousse,

- minimale en sommet de l'horizon B, soit le plus souvent dans la nappe de gravats (1,5 à 2,0 me/100 g de sol),

- augmentant de nouveau en profondeur dans les argiles tachetées.

La capacité d'échange des horizons essentiellement minéraux tend à être plus élevée en aval qu'en amont traduisant ainsi une différence d'évolution des matériaux. Ceci est confirmé par des rapports  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  voisin de 2,0 en sommet de versant (2,2 pour SAS 4) mais dépassant 2,5 en aval de versant (2,54 pour SAS 2). Les travaux de RIEU (1972) confirment d'ailleurs la nature essentiellement kaolinitique des matériaux amont et kaolinitiques + illitiques de ceux de l'aval. Selon lui, une coupure est introduite au niveau de la stone-line qui représenteraient une limite entre les "matériaux autochtones profonds moins évolués et des matériaux sus-jacents, allochtones, plus évolués". Le remaniement aurait été précédé d'une troncature de plus en plus importante vers l'aval des versants et l'évolution ultérieure partirait donc de matériaux originels différents en liaison avec la profondeur de cette troncature.

Les taux de saturation en bases restent assez élevés et peu différents d'un sol à l'autre dans les horizons humifères. Ils enregistrent en profondeur les variations d'une capacité d'échange de plus en plus liée à la nature des colloïdes minéraux.

- Sols hydromorphes du bas-fond (SAKASSOU 3).

La somme des bases est faible dans les horizons humifères et dans les altérites hydromorphes. Elle devient presque nulle dans les horizons lessivés : ceci est lié à l'intensité du drainage agissant sur la lixiviation en bases. La capacité d'échange qui atteint 3 mé/100 g de sol en surface est surtout liée à la présence de composés humiques, elle diminue fortement dans les horizons lessivés et augmente de nouveau dans les pseudo-gley et les altérites (où elle ne dépasse cependant pas 15 mé/100 g d'argile, valeur qui rend improbable la présence d'argiles de type 2/1). Les taux de saturation dépassent de ce fait 70 % en surface et en profondeur, mais ne sont guère

significatifs dans les horizons lessivés aux capacités d'échange faibles à nulles.

#### IV.6.3. Classification

Les propositions qui suivent tiennent compte des adaptations opérées sur la Classification française des sols (CPCS, 1967) par les pédologues de Côte d'Ivoire et plus précisément, sur le bassin de SAKASSOU, par RIEU (1972) :

- Sols du versant de raccord (segment 2)

- en amont du bassin (SAKASSOU 4)

- Sol ferrallitique (Cl.), moyennement désaturé (S.Cl.), remanié (Gr.) colluvionné (S.Gr.), sur granite (Fam.), appauvri (Faciès), à couverture très épaisse (Série).

On remarquera que la classification de ces sols provient d'une hypothèse résolument allochtoniste qui transparait à différents niveaux taxonomiques avec les termes "remanié", "colluvionné", "couverture". Une terminologie, utilisée par RIEU, quantifie par ailleurs les épaisseurs des recouvrements (couverture très épaisse : > 100 cm, épaisse : de 50 à 100 cm, peu épaisse : de 30 à 40 cm,

- en partie médiane du bassin

- mi-versant (SAKASSOU 1) : même classification que précédemment sauf au niveau de la série qui devient "à couverture épaisse", ce pour signaler la diminution des recouvrements.

- mi-versant (SAKASSOU 2) : sol ferrallitique (Cl.), moyennement désaturé (S.Cl.), remanié (Gr.), induré (S.Gr.), sur granite (Fam.), lessivé (Faciès), à carapace profonde (Série).

On notera que la profondeur d'induration et son intensité sont mentionnées au niveau de la Série : à carapace (ou à cuirasse) profonde (> 70 cm), peu profonde (de 20 à 70 cm) sub-affleurante (< 20 cm). Le recouvrement de matériau meuble, trop peu épais, n'est plus mentionné au niveau du sous-groupe qui signale dès lors le processus d'induration.

- Sols de la basse entaille (segment 3)

- en partie médiane du bassin

- en amont du segment 3 (SAKASSOU 3) : sol hydromorphe (Cl.), minéral (S.Cl.), à pseudo-gley (Gr.), lessivé (S.Gr.) sur granite (Fam.), à couverture claire épaisse (Série).

On notera que l'on abandonne, dans les sols hydromorphes, l'ordre des critères taxonomiques utilisés dans les sols ferrallitiques. Bien que l'hypothèse du colluvionnement ait été retenue par les équipes étudiant ce bassin, ce processus n'est signalé qu'au niveau de la Série. On élève par contre à un niveau taxonomique assez important le lessivage des colloïdes. En d'autres

endroits de cette basse entaille, la limite entre les horizons "A 2" et "g" est marquée par un concrétionnement plus ou moins important, celui-ci est alors signalé au niveau d'un Groupe "concrétionné" ou "à accumulation de fer".

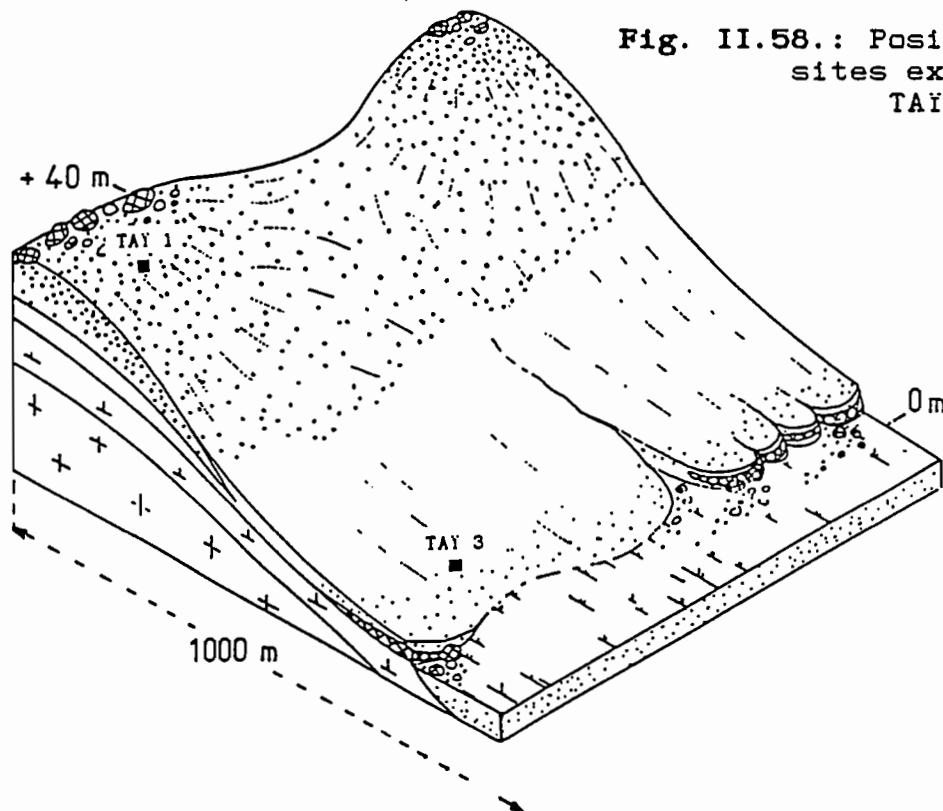
**IV.7. Les sols des sites expérimentaux de la station écologique de TAY - domaine des sols ferrallitiques du Sud-ouest ivoirien - 05°20' N et 07°21' W**

En novembre et décembre 1978 puis en février et mars 1979, deux campagnes de simulation de pluies ont été menées sur des sols représentatifs d'un petit bassin versant de la région de TAY (sud-ouest ivoirien).

Le couvert végétal naturel est la forêt dense sempervirente appartenant au secteur ombrophile du domaine guinéen. Dans le bassin expérimental, la forêt a été défrichée traditionnellement pour une culture de riz pluvial.

Le paysage se présente comme une succession d'interfluvés de quelque 1 000 m d'extension latérale et 40 à 50 m de dénivellée, les versants étant convexo-concaves. Les sommets présentent souvent d'étroits sommets plans supportant alors des reliquats de cuirasses fragmentées. Proportionnellement aux dimensions des interfluvés, les bas-fonds sont très larges (150 à 200 m )

Le substratum, est selon PAPON et LEMARCHAND (1973) une migmatite hétérogène correspondant à la granitisation de formations métamorphiques anté-birrimiennes ; les variations latérales de faciès sont en effet très fréquentes



**Fig. II.58.: Positionnement des sites expérimentaux de TAY 1 et 3**

Sur les versants, la répartition des horizons se présente de la façon suivante (figure II.58).

• 1 : Depuis le **sommet jusqu'au tiers supérieur du versant**, sur des pentes convexes passant de 0 à 20 %, on trouve une accumulation de 50 à 100 cm de nodules ferrugineux arrondis très durs, emballés dans une matrice argileuse rouge souvent nettement structurée. On passe ensuite à des argiles meubles toujours rouges non tachées et également finement structurées. Les altérations du granite n'apparaissent que vers 250 cm et se poursuivent très profondément (10 à 15 m).

• 2 : Du **tiers supérieur au tiers inférieur**, soit sur une portion de versant convexe puis rectiligne de 150 à 200 m et sur des pentes passant de 20 à environ 5 %, on observe une diminution des affleurements de nodules. Ceux-ci se couvrent en effet progressivement de sables argileux passant en profondeur à des argiles sableuses jaunes. L'horizon gravillonnaire ne représente plus vers la mi-versant que 30 à 40 cm. Il surmonte un horizon tacheté de jaune et rouge, argileux, puis des altérites vers 200 cm.

• 3 : Du **tiers inférieur jusqu'à la rupture de pente** annonçant le bas-fond, soit sur quelque 100 à 150 m de versant rectiligne puis légèrement concave (pente de 5 à 1 %), l'horizon gravillonnaire disparaît complètement. Les premiers horizons sont jaune pâle sableux puis argilo-sableux massifs, ils se tachent ensuite de plus en plus fortement à partir de 80 - 100 cm. Les taches rouges s'indurent, deviennent coalescentes et forment une carapace ferrugineuse à partir de 140 ou 150 cm. Les altérites, elles-mêmes souvent indurées, n'apparaissent guère au-dessus de 200 cm.

• 4 : Le **bas-fond** se raccorde au segment précédent soit par une simple rupture de pente, soit par une berge abrupte de plusieurs mètres entaillant carapaces et altérites. Il est envahi par une végétation hygrophile et occupé par des sols alluviaux ou hydromorphes minéraux à gley de texture hétérogène, sableuse grossière grise avec des intercalations argilo-limoneuses. On n'y observe aucune accumulation organique.

La surface de ces différents sols présente de nombreuses traces d'une intense activité animale. La microtopographie reste généralement plane à l'amont mais se complique vers l'aval avec l'apparition de micromodelés, chenaux, canalisant les eaux de ruissellement.

#### *IV.7.1. Caractères morphologiques*

Deux situations expérimentales ont été retenues à proximité du sommet (TAï 1) et en bas de versant (TAï 3) pour étudier le comportement de sols (1) en saison sèche et (2) en saison des pluies (TAS et TAH, sur le listing de l'annexe).

La première situation correspond aux réactions d'un sol de fin de saison sèche préparé pour les semis de riz. L'abattage de la forêt et le brûlis se déroulent de décembre à février. Ce traitement laisse sur place les plus gros arbres (diamètre de 60 à 80 cm) et aussi certaines espèces utiles de diamètre plus petit ; les sous-strates sont par contre coupées et laissées en partie sur place (débardage progressif comme bois de chauffage). Le séchage

est fonction de la rigueur de la saison sèche aussi les débris brûlent-ils de façon hétérogène. Le "champ" préparé se présente finalement comme un fouillis de débris de tailles diverses reposant sur et au-dessus du sol et laissant des plages nues plus ou moins couvertes de cendres et de débris calcinés. Les semis de riz se font en poquets (20 à 25 kg de semences/ha) tous les 30 à 50 cm en des endroits libres de gros débris et à l'aide d'un plantoir rudimentaire (bâton armé d'un fer conique). Le travail du sol est donc extrêmement fruste, son remaniement superficiel est insignifiant mais, évidemment, ce qui change ce sont les interceptions des pluies et l'éclairement, donc la température du sol, radicalement différents de ceux de la forêt.

La seconde situation expérimentale correspond aux réactions d'un sol en saison des pluies, avant la moisson du riz qui, selon les années s'échelonne de juillet à septembre. Le champ se présente alors sous la forme d'un couvert herbacé dense et assez continu sur 100 à 150 cm de hauteur, où les plants de riz sont, au moins la première année, concurrencés par les recrûs d'adventices et de jeunes pousses d'espèces forestières héliophiles. Dans ces conditions, le rendement du riz est assez difficile à évaluer, il oscillerait entre 500 et 1 500 kg/ha (DE ROUW, 1980 ; MOREAU, 1984).

TAÏ 1 : site expérimental amont situé à 70 m du sommet soit en limite des segments 1 et 2 précédemment présentés. Pente de 19,8 %. Surface du sol constituée soit d'un micromodelé en marches d'escaliers où alternent les placages sableux (marches) et les accumulations de débris végétaux (contre-marches de quelques centimètres), soit, d'une surface régulière correspondant aux épandages gravillonnaires. La succession d'horizons peut se résumer de la façon suivante (figure II.59.).

- De 0 à 80 cm : niveau de nodules ferrugineux dense ; recouvrement aléatoire de matériaux meubles ; matrice argilo-sableuse humifère brune sur 30 cm puis rouge ; structuration assez développée sur 15 cm devenant ensuite massive ; enracinement très dense sur 20 cm ; porosité tubulaire généralement très fine.

- De 80 à 150 cm : série d'horizons tachetés de jaune sur fond rouge ; disparition des nodules ferrugineux ; texture argileuse ; structure massive ; porosité tubulaire fine à grossière jusqu'à 120 cm puis exclusivement fine au-delà.

- De 150 à 180 cm : apparition de lames de schistes altérés dans un matériau argilo-limoneux de plus en plus tacheté ; structure massive ; porosité faible.

Ce profil fait la transition entre les sols des segments 1 et 2. En effet, les taux de gravillons commencent à diminuer, des recouvrements meubles apparaissent çà et là, les horizons de profondeur se tachent. Le matériau originel correspond vraisemblablement à un panneau de schistes intercalé dans les granites migmatitiques. L'incorporation des composés humiques et l'enracinement sont exceptionnellement profonds pour des sols ferrallitiques de forêt.

TAÏ 3 : site aval situé à 30 m avant la rupture de pente raccordant le versant au bas-fond ; pente de 7,5 %.



Il est intéressant de noter que quelques mois de saison des pluies suffisent pour modifier assez sensiblement l'aspect de la surface du sol sous défriches traditionnelles : l'ancien micromodelé en chenaux anastomosés et à bords francs s'estompe et, au ruissellement canalisé, succède un ruissellement plus diffus. De même, les traces d'activité de la mésofaune deviennent moins visibles et, à une rugosité issue de ces multiples formes d'activité sous forêt (insectes, vers, larves, rongeurs), succède une tendance au lissage et au colmatage des porosités ouvertes sur la surface cependant que peuvent subsister les plus gros drains d'origine biologique (pivots racinaires, etc.) (figure II.60).

- De 0 à 70 cm : horizons humifères bruns puis brun jaunâtre avec quelques taches d'hydromorphie ; texture sableuse puis sablo-argileuse (appauvrissement net) ; sans éléments grossiers : structure essentiellement massive ; diminution sensible de la porosité et augmentation de la cohésion vers 15 cm ; chevelu racinaire dense limité aux 10 premiers centimètres.

- De 70 à 160 cm : horizons minéraux jaune pâle de plus en plus tachés de rouge et gris-beige ; texture argilo-sableuse ; structure massive : cohésion forte ; porosité faible.

- De 160 à 185 cm : horizons carapacés par les oxydes de fer (induration et jonction des taches rouges) ; par endroit, larges vacuoles emplies de matériau gris jaunâtre meuble.

Ce profil est très caractéristique des bas de versant avec un éclaircissement général de la matrice meuble, un net appauvrissement en argiles, une dégradation de la structuration et de la porosité, un horizon compacté superficiel (dit de "comportement") une forte cohésion de l'ensemble même à l'état humide et un horizon tacheté évoluant en carapace qui apparaît brutalement. C'est la zone où les chablis sont les plus fréquents et où démarrent, souvent de façon concomitante, les ravines exportant les matériaux meubles dans le bas-fond.

#### *IV.7.2. Caractéristiques analytiques*

##### **a) Granulométrie**

La différenciation texturale reflète deux processus qui combinent leurs effets.

- En un point quelconque du versant, le drainage vertical et la stabilité des structures commandent l'intensité de l'appauvrissement des horizons humifères en colloïdes argileux. Le drainage vertical oriente également l'altération donc l'approfondissement des sols. On notera que les caractères altéritiques détectés, entr'autres phénomènes, par l'augmentation du taux de limons fins, apparaissent plus profondément en amont qu'en aval.

- Sur l'ensemble de la toposéquence, le colluvionnement fournit des matériaux plus grossiers en bas de versant et la combinaison des flux hydriques verticaux et latéraux provoque un lessivage généralement plus important en aval qu'en amont.

TAÏ 1

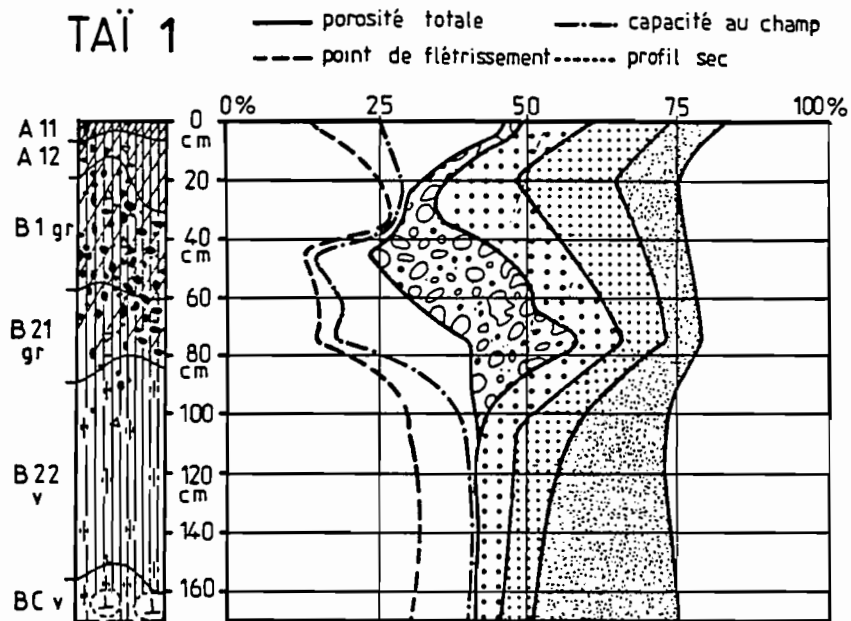


Fig. II.59.: TAI 1, profil pédologique et composition volumique.

TAÏ 3

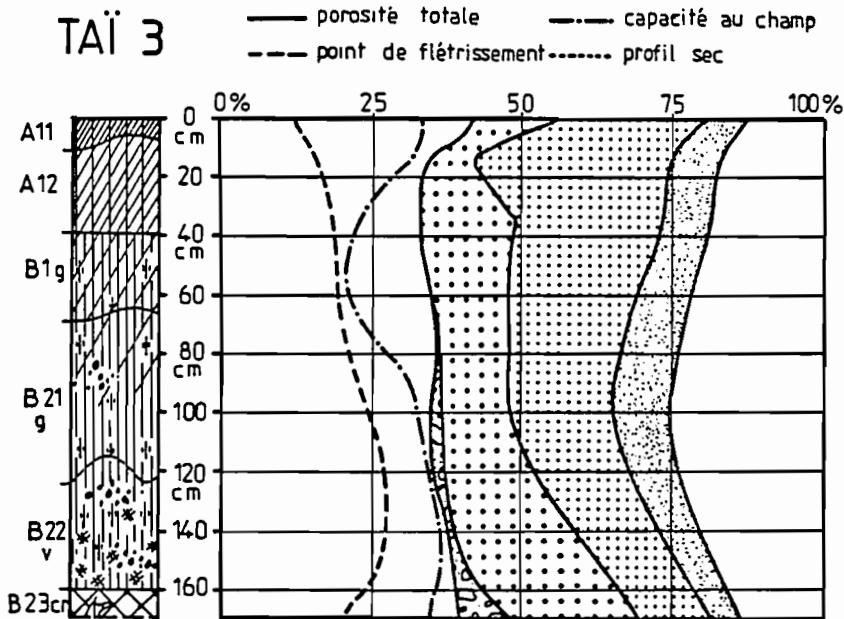


Fig. II.60.: TAI 3, profil pédologique et composition volumique.

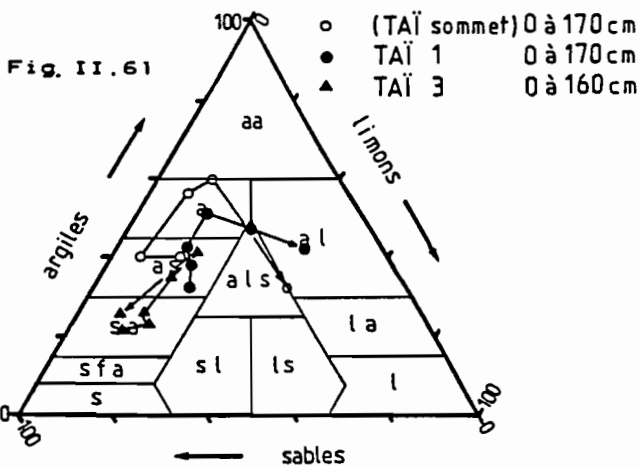


Fig. II.61.: TAI, diagramme des textures.

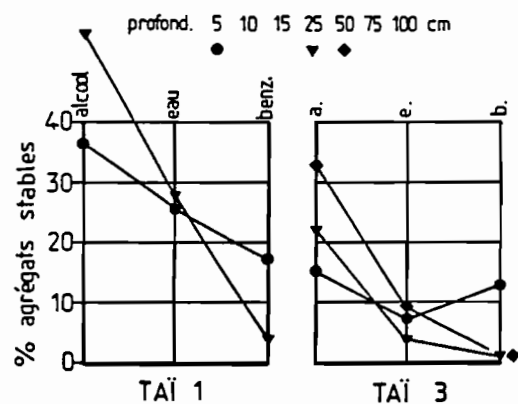


Fig. II.62.: TAI 1 et 3, agrégats stables aux tests de HENIN et MONNIER (1956),

## b) Paramètres hydrodynamiques

TABLEAU XXVI

Profils de TAï - Capacités hydriques des tranches  
0 - 50 - 100 - 150 et 185 (ou 170 ) cm  
(exprimées en mm d'eau)

Ech.	Prof. (cm)	Poro. tot.	Macro. poro.	Micro. poro.	Point flétri.	Eau utile
TAï 1	0/50	164	31	133	107	26
	0/100	345	87	258	206	52
	0/150	554	88	466	361	105
	0/185	679	110	569	452	142
TAï 2	0/50	175	35	140	85	55
	0/100	350	78	272	193	80
	0/150	531	82	449	326	123
	0/170	610	95	515	374	141

TAï 1 : la porosité totale est faible (3,3 mm/cm) sur les 50 premiers centimètres, ceci est lié à la présence d'un horizon compacté vers 40 cm. Ces horizons de comportements se rencontrent d'ailleurs sur n'importe quelle partie de versant, leur origine est difficile à expliquer car il ne semble pas exister de relations ni avec la nature des horizons sus- et sous-jacents, ni avec leur environnement végétal.

La macroporosité est faible avec deux étranglements vers 30 cm et à partir de 90 cm dans les argiles tachetées. Dans ces dernières, la microporosité représente 90 % de la porosité totale. Les eaux gravitaires disposant ainsi de deux réservoirs superposés, l'un entre 0 et 25 cm, représentant environ 25 mm de stockage et l'autre entre 40 et 100 cm (55 mm de stockage).

Les réserves utilisables sont moyennes en surface (0,5 mm/cm) et très importantes en profondeur (1,2 mm/cm), mais l'horizon de comportement des 40 cm constituera un milieu physiologiquement sec.

TAï 3 : la porosité totale subit moins de fluctuations que celle des sols de l'amont mais elle reste faible à moyenne (3,5 mm/cm).

La macroporosité est faible avec deux niveaux de fermeture vers 15 cm et à partir de 100 cm ce dernier correspondant au "ventre" d'accumulation argilique dans les argiles tachetées. L'eau gravitaire dispose donc, comme en sommet, de deux réservoirs superposés ne communiquant pratiquement pas entre eux : l'un, superficiel de 5 mm (entre 0 et 15 cm) et l'autre, d'une capacité de 65 mm mais ne drainant que très difficilement en profondeur.

Les réserves utilisables sont importantes avec des valeurs avoisinant 1 mm/cm.

A l'échelle de la toposéquence, les seules zones permettant un drainage vertical profond seront celles des **sommets** occupés par des sols gravillonnaires homogènes, cependant, elles ne représentent que 15 à 25 % de la superficie des interfluves. Sur les **versants**, les horizons de comportement sub-superficiels conditionnent une première orientation latérale des écoulements et la "résurgence" de ces écoulements hypodermiques en ruissellement superficiel dépendra de la saturation des réservoirs proches de la surface. En profondeur, les horizons d'argiles tachetées constituent souvent le plancher d'un second réservoir d'assez faible capacité (leur microporosité représentant 70 à 80 % de la porosité totale). De nombreuses conditions sont donc réunies pour que les 2/3 des versants génèrent des ruissellements importants, ceci est confirmé par l'aspect des micromodèles canalisant les écoulements au moins vers la mi-versant.

### c) Stabilité des structures

Les tests de HENIN et MONNIER (1956) appliqués à 5 échantillons provenant des profils amont et aval (figures II.62.) montrent une résistance plus importante des structures superficielles de l'amont, résistance liée à un effet protecteur des composés humiques. En profondeur, la cohésion est plutôt assurée par les colloïdes argileux, ce qui explique la différence entre les sols argileux de l'amont et argilo-sableux de l'aval. Il apparaît en outre, que ce n'est pas tant la **quantité** des composés humiques qui intervient que leur **qualité**. Des relations, déjà mises en évidence par COMBEAU (1964), apparaissent entre les valeurs de l'instabilité structurale (Is), le rapport acides fulviques/acides humiques (qui traduit, en partie, le degré de polymérisation des composés humifiés migrant dans le profil) et les taux argiles + limons fins. Le tableau XXVII montre qu'en effet, la conjonction de rapports AF/AH bas et de taux A + LF élevés, fournit les structures les plus stables.

=====

**TABLEAU XXVII**

Profils de TAÏ - Liaisons entre l'instabilité structurale,  
la texture et la nature des composés humifiés

:-----:-----:-----:-----:-----:-----:-----:-----:							
: Ech. :	Prof. :	A + LF :	MO % :	C/N :	AF/AH :	Is :	:
:	:	1 :	2 :	3 :	4 :	5 :	:
:-----:-----:-----:-----:-----:-----:-----:-----:							
: TAÏ 1 :	5 cm :	41,5 :	4,2 :	10,8 :	2,09 :	0,3 :	:
:	20 cm :	47,9 :	2,2 :	10,4 :	2,30 :	1,0 :	:
:-----:-----:-----:-----:-----:-----:-----:-----:							
:	5 cm :	26,4 :	2,4 :	12,1 :	2,78 :	0,8 :	:
: TAÏ 3 :	25 cm :	32,5 :	1,1 :	12,5 :	5,51 :	2,5 :	:
:	50 cm :	40,3 :	0,9 :	12,4 :	7,13 :	1,9 :	:
:-----:-----:-----:-----:-----:-----:-----:-----:							

### Légende

- (1) taux d'argile + limons fins ( $< 20 \mu$ )
- (2) taux de matière organique (Carbone total  $\times 0,1724 \times 10^{-2}$ ),
- (3) rapport carbone/azote,
- (4) rapport acides fulviques/acides humiques
- (5) indice d'instabilité des structures

=====

#### d) Caractéristiques chimiques

Les profils de sommet sous forêt et de bas de versant présentent des charges en bases assez fréquentes dans le domaine ferrallitique forestier, avec une désaturation importante des horizons minéraux. En surface, on note la meilleure capacité d'échange des horizons humifères des sols de sommet par rapport aux sols de bas de versant plus sableux.

Bien que situés dans le domaine des sols fortement désaturés, on constate que les profils présentent un complexe d'échange moyennement désaturé. Il s'agit d'un caractère intrazonal lié à la nature hétérogène, déjà mentionnée, des migmatites, incorporant, ici, un panneau d'amphiboloschistes.

Le tableau XXVIII présente quelques-unes des relations liant le complexe d'échange avec les phases minérales et organiques des échantillons caractérisés.

=====

**TABLEAU XXVIII**  
Toposéquence de TAï - Evolution de la capacité d'échange liée  
à celle du complexe argilo-humique

Profils	Profond.	A %	MO %	T mé/100g
		1	2	3
Sommet	5 cm	40,0	5,7	9,4
sous-forêt	20 cm	40,0	1,9	6,0
témoins	50 cm	57,5	1,4	5,8
1/4 sup.	5 cm	33,4	4,2	9,0
versant	20 cm	38,2	2,2	6,6
(TAï 1)	50 cm	42,6	1,7	6,0
aval	5 cm	22,0	2,4	5,4
versant	20 cm	26,5	1,2	3,9
(TAï 3)	50 cm	30,0	1,0	3,7

#### Légende

- (1) A, taux d'argile %,   
 (2) MO, taux de matière organique (carbone total x 0,1724 x 10<sup>-2</sup>),   
 (3) T, capacité d'échange en bases (en milliéquivalent/100 g de sol tamisé à 2,0 mm).
- =====

#### IV.7.3. Classification

##### • Sommet d'interfluve (pas de site expérimental)

Sol ferrallitique (Cl.), fortement désaturé (S.Cl.) remanié (Gr.), modal (S.Gr.), sur migmatites hétérogènes (Fam.), argileux rouge (Faciès),

• 1/4 supérieur du versant (TAÏ 1)

Sol ferrallitique (Cl.), fortement désaturé (S.Cl.), remanié (Gr.), modal (S.Gr.), sur granite, (Fam.), argileux décoloré en surface (Faciès),

• Bas de versant (TAÏ 3)

Sol ferallitique (Cl.), fortement désaturé (S.Cl.), induré (Gr.), appauvri (S.Gr.), sur migmatites hétérogènes (Fam.), argilo-sableux jaune (Faciès), à carapace peu profonde (Série).

**IV.8. Conclusion partielle : résumé des caractéristiques des sols des différents sites**

Avant d'aborder l'analyse expérimentale des comportements hydriques et érosifs de tous ces sols, on en résumera les principales caractéristiques sous la forme de deux tableaux synoptiques présentant deux séries d'informations qui seront exploitées dans les, quatrième et cinquième parties.

• Le tableau XXIX "Caractéristiques des sols" (en annexe) regroupe les données éventuellement paramétrables ; leur choix est évidemment raisonné : il résulte de la sélection des traits pédologiques majeurs, susceptibles d'interférer sur les comportements hydrodynamiques et érosifs).

• Le tableau XXX "Caractéristiques des réservoirs" (en annexe) présente une expression simplifiée des différentes catégories de volumes poreux. Parmi celles-ci, sont sélectionnées celles qui sont les plus susceptibles de contenir et d'orienter les flux hydriques gravitaires.

Au vu de ces deux ensembles d'informations, on s'efforcera de prédire le comportements de ces sols échelonnés en latitude. La portée de ces prédictions, confirmées ou infirmées par l'expérimentation, devrait permettre d'évaluer les limites d'utilisation de données essentiellement statiques à des fins dynamiques, cet aspect pouvant constituer une forme de valorisation des nombreux inventaires pédologiques couvrant la zone de l'étude.

Les informations synthétiques du tableau XXIX suscitent les commentaires suivants.

1) **Texture (ARGI-ENTR)**

Si l'on regroupe les sols issus de l'altération de granites, (OURS 3, LOUMBILA 1, KORHOGO 1 et 2, SAKASSOU 1, 2 et 3, TAÏ 1 et 3), on constate que la pédoplasation individualise nettement les pôles sableux du domaine isohumique et argileux du domaine ferrallitique, ce, en exceptant les sols vertiques des zones sèches. Cette partition respecte les modalités des différentes altérations évoquées précédemment. Les apports éoliens actuels, ou plus anciens, renforcent cette tendance en contaminant les horizons superficiels dans les zones sahéliennes.

Dans le domaine ferrugineux intermédiaire, la granulométrie est plus liée à la morphogénèse qu'à l'altérogénèse actuelle car elle dépendra souvent de

la profondeur de l'entaille dégageant les anciennes altérations kaolinitiques. C'est par exemple le cas de la séquence de POUNI (POS), où les sols de l'amont sont nettement plus argileux que ceux de l'aval.

On ne peut cependant guère progresser dans cette comparaison texturale, et ce d'autant que les dimensions et les mailles interfluves varient considérablement entre le nord et le sud. On est en effet beaucoup moins assuré de l'homogénéité du matériau originel sur les 10 km de versant d'OURSI (géoséquence) que sur les 500 à 1 000 m de SAKASSOU ou de TAÏ où l'évolution est surtout liée à la topographie (toposéquence).

Les variations verticales de texture présentent tous les cas de figures, quelle que soit la latitude, en exceptant cependant les profils homogènes des sols à tendance verticale. Mais il est probable que des causes différentes peuvent aboutir à des profils texturaux analogues : un "appauvrissement" détecté dans la zone sahélienne peut résulter, ou au moins être renforcé, par l'apport de sables éoliens allochtones, tandis que l'entraînement hydrique est le seul processus pouvant être mis en cause en zone humide.

Contrairement à certaines considérations rapides, mais parfois encore bien ancrées (sable = perméabilité), la texture n'a pas d'influence directe sur l'hydrodynamique. C'est plus par les types d'assemblages que favorise sa composition granulométrique, au sens micromorphologique du terme, qu'elle interviendra dans la nature et la capacité des réservoirs (dynamique profonde) et dans la genèse des organisations pelliculaires superficielles contrôlant, pro-parte, la conductivité (dynamique superficielle).

## 2) Charge en éléments grossiers (TXEG)

Lorsqu'elle est constituée de nodules ferrugineux, cette charge résulte d'héritages morpho-pédogénétiques dans les domaines ferrugineux et ferrallitiques ; elle est peu fréquente dans le domaine isohumique.

Les affleurements gravillonnaires sont généralement plus envahissants dans le domaine ferrugineux, ils se limitent par contre plus souvent aux sommets d'interfluves dans le domaine ferrallitique humide. Cette différence d'extension influencera fortement l'hydrodynamique des versants pour peu que ces éléments soient suffisamment nombreux. Enfin, certains d'entre eux possèdent une porosité propre qui est susceptible de stocker des réserves hydriques compensant de façon non négligeable la dessiccation de la matrice meuble.

## 3) Minéralogie des argiles (MINE)

Les domaines isohumiques et, partiellement, ferrugineux aux argilogénèses illitiques et smectitiques s'opposent au domaine ferrallitique à argilogénèse essentiellement kaolinitique.

Cette évolution latitudinale de la minéralogie des argiles aura deux répercussions : sur les variations saisonnières des volumes apparents des réservoirs poreux (sols vertiques surtout), sur la genèse des organisations pelliculaires superficielles (cinquième partie de cette étude).

#### 4) Structure (TYPE - AGRE - INST - DCHI)

Le développement de la structure et la stabilité des agrégats ne présentent pas de différences latitudinales significatives. Par contre, on constate un affinement des structures fragmentaires vers les zones humides, même dans les horizons de profondeurs où l'action mécanique de la faune et du chevelu racinaire ne peut plus être évoquée. Il apparaît aussi que les risques de dégradation chimique sont plus marqués dans les domaines isohumique et ferrugineux tropicaux. Il en résulte un processus saisonnier de prise en passe, donc de compaction des horizons soumis aux plus importantes alternances d'humectation et de dessiccation.

#### 5) Matière organique et enracinement (MORG - RACN)

Les zones de steppes herbeuses, en milieux arides, s'opposent nettement aux zones des savanes humides et, a fortiori, aux zones forestières :

- teneurs très faibles en composés humiques mais s'incorporant profondément dans le domaine isohumique,
- teneurs moyennes en savane humide à fortes en forêt mais avec un important gradient d'incorporation dans le domaine ferrallitique.

Les taux d'enracinement suivent la même évolution latitudinale, car, au contraintes hydriques des zones sèches succèdent des contraintes chimiques avec un cycle de plus en plus superficiel des éléments minéraux en zone humide. Les recrûs par germination prédominent en zone sahélienne. Le tallage prend de l'importance à partir du domaine sud-soudanien (900 mm de pluies), mais la densité des recrûs n'augmente nettement qu'en zone guinéenne, déjà dans le domaine mésophile, et surtout dans le domaine ombrophile, où se développent des chevelus racinaires denses, continus, pérennes mais superficiels constituant une forte "armature" contre l'érosion en nappe. C'est seulement dans ce dernier domaine que le tableau XXIX fait apparaître un effet protecteur du complexe argilo-humique sur les structures.

#### 6) Organisations superficielles (PELL - ENSB - EGRO)

La subdivision présentée en pellicule d'éléments fins, épandages sableux et épandages d'éléments grossiers est, certes, sommaire, mais correspond cependant aux trois grandes familles d'organisations découvertes constamment jusqu'aux 8 ou 9° de latitude Nord. En deçà, il apparaît que l'activité de la faune du sol devienne suffisamment intense et durable, en milieu naturel, pour contrarier la formation de ces organisations ou tout au moins les remanier totalement à l'issue de leur constitution. A partir de la zone guinéenne, cette activité prend suffisamment de poids pour pouvoir interférer sur l'hydrodynamique des versants, même si elle suit des fluctuations dans l'espace et dans le temps.

#### 7) Couvert végétal (VEGT)

Les taux de recouvrement présentés en colonne 16 concernent depuis le profil OURSI 1 (OUS 1) jusqu'au profil SAKASSOU 3 (SAS 3), des débris végétaux couchés sur la surface du sol ou des végétaux morts encore érigés ; il s'agit le plus souvent de chaumes de graminées à faible pouvoir intercepteur. Par contre les 50 % de recouvrement des profils de TAÏ contiennent une grande



partie de plantes vivantes (adventices, recrûs) à structures foliaires horizontales très interceptrices. Les taux de recouvrement déterminés par la méthode des points quadrats (comptage par contact) donnent une appréciation correcte de cette interception mais les variations observées ne peuvent pas être interprétées de façon régionale : elles reflètent uniquement la situation exacte de la parcelle expérimentale.

A l'échelle régionale, on sait qu'une différence importante, dans la nature du recouvrement, s'opère à partir de la zone guinéenne, car la végétation y devient pérenne tandis que plus au nord l'interception de l'énergie de pluies n'est assurée que 3 à 6 mois de l'année par un couvert clairsemé, (au-delà de la saison des pluies l'action protectrice peut se poursuivre par un mulch de débris mais sa densité, donc son efficacité, varie en raison de multiples causes d'exportation : consommation par le bétail, utilisation comme matériau de construction, etc.). Un problème similaire se rencontre dans la zone guinéenne mésophile, où la densité de biomasse serait suffisante pour assurer une protection équivalente à celle d'un couvert forestier ombrophile mais où les habitudes culturelles et les coutumes (feux de brousse) aboutissent à créer des risques parfois voisins de ceux des zones plus septentrionales.

Les caractéristiques hydriques des principaux profils de sol du tableau XXX amènent les commentaires suivants.

Si l'on fait abstraction du rôle exercé par les organisations superficielles sur la conductivité pour ne considérer que les compositions volumiques des sols échelonnés entre 5° 20' et 14° 30' N, force nous est faite de constater qu'il n'y a pas d'évolution latitudinale de cette composition. Par contre, les différences topo- ou géoséquentielles en un site donné sont importantes.

Cette constatation amène alors à considérer, site par site, quels peuvent être les traits pédologiques majeurs susceptibles d'orienter les flux d'eau gravitaire en ruissellement superficiel, ruissellement hypodermique et drainage vertical. La dynamique actuelle des sols est en effet conditionnée par cette mobilisation depuis une zone de départ, à travers une zone de transit, vers une zone d'accumulation des éléments solides ou solubles chargés par ces flux.

L'apparition d'un ruissellement hypodermique nécessite la conjonction :

- d'une macroporosité ouverte sur la surface  $\Rightarrow$  condition qui rejette déjà les sols sujets au colmatage de leurs structures superficielles,

- de la fermeture progressive ou brutale de cette macroporité à une profondeur fonction de la capacité du réservoir et des conditions pluviométriques  $\Rightarrow$  environ la moitié des sols étudiés présente en profondeur soit une dalle rocheuse ou cuirassée imperméable, soit un horizon plus compact que les horizons sus-jacents (horizon de comportement, argilique, tacheté, pseudo-gley).

Compte tenu de ces conditions, l'apparition d'un flux latéral est probable pour : GALMI 1, SAINT PAUL 1, KORHOGO 2, SAKASSOU 3, SAINT PAUL 2, OURSI 3, POUNI 3 et TAÏ 3, ... cette liste étant ordonnée selon des valeurs

décroissantes du rapport macroporosité/porosité totale. Ainsi, les sols du plateau cuirassé de la géoséquence de GALMI fournissent-ils les ruissellements hypodermiques les plus durables, avec 75 % de macroporosité représentant 186 mm d'eau gravitaire sur environ 50 à 70 cm de sol, tandis que la saturation du réservoir supérieur du profil TAÏ 3 ne nécessitera que 20 mm d'eau gravitaire pour que réapparaisse un ruissellement superficiel.

Le cas du profil médian de la toposéquence de SAKASSOU (SAS 2) est particulier. La suffosion des horizons A2 entre 40 et 70 cm est liée à un intense flux latéral qui se formera uniquement par saturation remontante d'un réservoir fermé à sa base par le carapacement (affleurant en cuirasse à quelque 10 m en aval), (cf. figure II.51.).

Pour tous les autres profils, l'apparition d'une composante latérale du drainage dans les horizons à forte macroporosité ne pourra être obtenue que pour une saturation des horizons de profondeur, condition très improbable au moins dans les zones à faible pluviométrie.

Enfin, certains d'entre eux présentant des caractères vertiques (OURSI 2, GALMI 4, et BATANGA 1) ne pourront en aucun cas générer d'écoulements latéraux parce qu'ils se saturent en eau fortement liée à la matrice, donc sans possibilité d'apparition de flux d'eau libre.

A l'échelle de l'interfluve, on constate que, dans la majorité des cas, les conditions amenant des drainages latéraux sont réunies en aval des versants, c'est la conséquence de différenciations toposéquentielles assez répandues :

- soit parce que l'évolution paléomorphologique a maintenu en amont d'anciens et épais altérites sur lesquels se situent les sols les plus évolués et les plus perméables, tandis que vers le bas des versants se développent des sols sur des altérites profondément tronqués révélant des niveaux compacts,

- soit parce qu'une évolution récente, ou actuelle, accentue les hétérogénéités texturales et structurales en bas de versant (p. ex. sableux sur horizons plus argileux).

Cette distribution séquentielle des caractéristiques physiques et sa conséquence possible sur la nature du ruissellement connaît l'exception des amonts de versants susceptibles de former des impluviums peu ou pas perméables, collectant les ruissellements et saturant les sols perméables de leurs piémonts (affleurement rocheux de la toposéquence SAINT PAUL, plateau cuirassé de la toposéquence de POUNI).

Un dernier point mérite d'être signalé : l'analyse qui précède est essentiellement statique et présente des approximations dont la plus importante concerne les éventuelles variations saisonnières de la capacité de ces réservoirs. **Théoriquement**, les argiles smectitiques des zones sahéliennes et nord soudaniennes devraient provoquer des modifications profondes de porosité liées à la variation de leurs états d'humectation. **Pratiquement**, dans la zone étudiée, où il tombe moins de 700 mm de pluies et où 9 à 11 mois sur 12 sont déficitaires, et pour ne considérer que les sols vertiques à drainage externe assuré, il apparaît que les humectations profondes permettant des transformations réversibles des réservoirs ne se produisent pas ou plus, du

moins, avec l'intensité que laisseraient supposer leurs traits structuraux : ceux-ci (prismes, fissures, faces de glissement) représenteraient, au moins en profondeur, des "paléostructures". Il ne fait par contre aucun doute que les quelques millimètres de capacités porales détectés en saison sèche dans les horizons fortement structurés des premiers décimètres finissent par se colmater totalement en saison des pluies par la fonte d'agrégats dépassant la limite de liquidité.

Ces différentes remarques, essentiellement suscitées par les observations du terrain, serviront à orienter les analyses qui suivront, notamment celles de la cinquième et dernière partie de cette étude.



## TROISIEME PARTIE

### DISPOSITIF DE MESURES ET METHODES

#### CHAPITRE V

##### LE DISPOSITIF EXPERIMENTAL

La figure III.1. représente un schéma d'ensemble de ce dispositif (COLLINET, LAFFORGUE, 1979) qui comprend, d'une part, les parcelles expérimentales et les appareillages annexes et, d'autre part, le simulateur de pluie et ses installations complémentaires.

##### *V.1. Le simulateur de pluie*

C'est un appareil construit sur le Centre ORSTOM d'Adiopodoumé, entre les années 1972 et 1974, en prenant modèle sur un des nombreux simulateurs utilisés aux Etats-Unis. Celui-ci est dérivé du "rotating boom rainfall simulator" de SWANSON (1965) dont les plans furent ramenés en Côte d'Ivoire par ROOSE à l'issue d'une mission effectuée aux Etats-Unis en 1971.

Il comporte un châssis de remorque transformé sur lequel un moteur électrique entraîne la rotation d'une colonne verticale creuse supportant, à sa partie supérieure, dix bras horizontaux en aluminium (conduits d'irrigation) de huit mètres de longueur, disposés en étoile à partir d'une boîte à eau cylindrique couronnant la colonne. Ces bras sont percés au total de trente ouvertures dans lesquelles s'ajustent des gicleurs spéciaux orientables dont l'ouverture est commandée par des vannes. Lorsque le moteur est en marche, la colonne et les bras tournent à une vitesse constante de quatre tours par minute.

Pour effectuer un arrosage, on met en route une motopompe thermique qui puise dans une réserve de 30 ou 50 m<sup>3</sup> et envoie de l'eau sous pression dans la colonne verticale. En jouant sur l'ouverture des vannes des gicleurs et en agissant sur une vanne régulatrice de pression, il est possible de régler et de maintenir le débit d'admission de manière à obtenir des intensités d'arrosage constantes et très proches de 30, 60, 90 et 120 mm/h. Lors des réglages préliminaires de l'appareil, on a vérifié, en disposant des batteries de pluviomètres dans différentes directions au niveau du sol, que la pluie simulée ainsi réalisée était spatialement homogène.

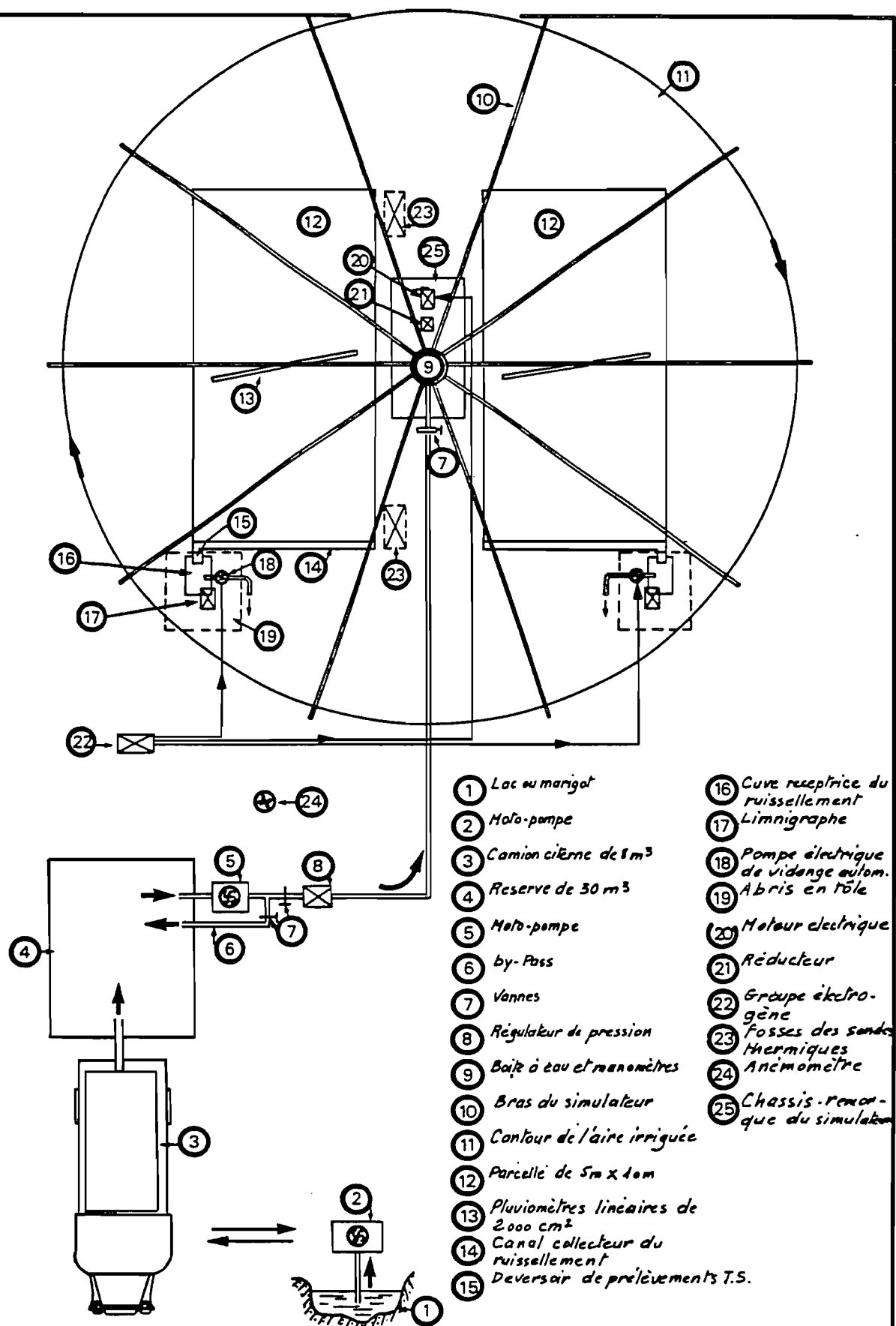


Fig. III.1.: Schéma d'ensemble du dispositif de simulation de pluies

Une expérimentation menée par VALENTIN et ASSELINE en 1977 a permis de constater que le diamètre moyen des gouttes était très proche de celui que l'on observe sous pluies naturelles pour les intensités comprises entre 60 et 90 mm/h. Par contre, cette même étude a mis en évidence, pour les plus faibles intensités, des écarts sensibles entre les énergies cinétiques des averses simulées et celles des averses naturelles. En désignant ces énergies cinétiques (joules/m<sup>2</sup>×mm) par ECS (simulé) et ECN (naturel), on a en effet :

- ECS/ECN # 1,40 pour 30 et 60 mm/h d'intensité de pluie,
- ECS/ECN # 1,10 pour 90 et 120 mm/h - -

Cette différence des énergies cinétiques est liée à un diamètre de gouttes plus important, aux faibles intensités, sous simulateur, car les gicleurs n'y fonctionnent plus aux débits pour lesquels ils ont été usinés.

Cette augmentation du diamètre des gouttes aux faibles intensités, donc des énergies cinétiques qu'elles délivrent, n'est gênante que si l'on raisonne en volumes (ou hauteurs) d'eau et non pas en énergie, choix qui est retenu dans les développements qui suivent.

Ces énergies cinétiques délivrées par le simulateur de pluie ont été calculées par VALENTIN (1977) pour les différentes tranches d'intensité en utilisant la méthode du "bac de farine" (flour pellet method) de HUDSON (1964). Elle est fondée sur le principe qu'une goutte d'eau tombant dans de la farine s'enrobe d'une pellicule et forme un agrégat de diamètre identique à celui de la goutte (écart < 4 %). Il s'agit ensuite de sécher les agrégats et de les tamiser pour obtenir, pour les différentes intensités de pluie, une distribution de calibrage de gouttes. Les calculs aboutissent à l'expression d'une énergie par intensité de pluie en joules par mètre carré de parcelle et multiplié par la hauteur de pluie. Le tableau XXXI représente ces différentes valeurs.

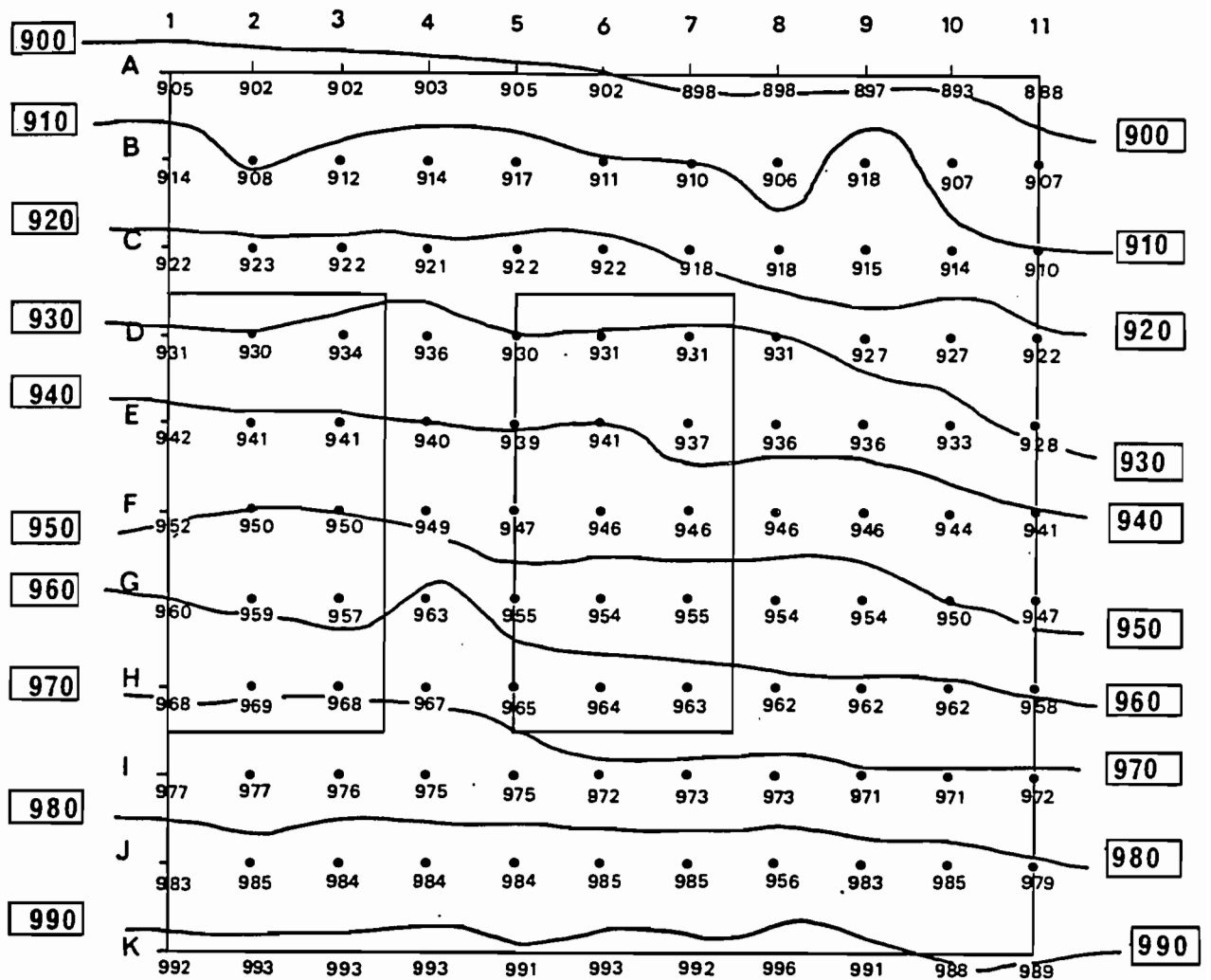
=====

**Tableau XXXI**  
Energies cinétiques sous pluies naturelles  
(HUDSON au Zimbabwe - ex Rhodésie)  
et sous pluies simulées (deux types d'appareil).

Intensité	ECN	ECS1	ECS2	ECS1/ECN	ECS2/ECN
1	2	3	4	5	6
37	27,5	14,5	36,1	0,53	1,31
45	26,7	17,5	-	0,65	-
60	27,7	24,2	40,9	0,87	1,47
90	28,8	22,4	31,4	0,78	1,09
120	29,0	23,7	32,4	0,81	1,11

**Légende**

- 1 = intensités des pluies en mm/h,
  - 2 = énergie cinétique des pluies naturelles en joules/mm/m<sup>2</sup>,
  - 3 et 4 : ECS1 et ECS2 = énergies cinétiques des pluies simulées sous infiltromètre à aspersion (1) et sous simulateur de pluie (2) en joules×mm / m<sup>2</sup>
- =====



Echelle: 7/1000 Cotes en cm - Equidistance des courbes: 10 cm

Fig. III.2.: Exemple de positionnement d'un couple de parcelles après levé topographique de la zone expérimentale



Une recherche en cours, portant sur la caractérisation des énergies des pluies de basse Côte d'Ivoire et menée par VALENTIN et al., tend à démontrer que la répartition du diamètre des gouttes par classes d'intensité varie en fonction de l'avancement de la saison des pluies. Les premières averses orageuses, lors de la remontée du Front Intertropical, fournissent les plus fortes énergies (nourrissage des gouttes par les aérosols ?). Cette énergie décroîtrait ensuite en pleine saison des pluies, lorsque la mousson est installée sur l'ensemble du pays.

L'approvisionnement en eau est assuré par un camion citerne de 8 m<sup>3</sup> qui effectue des navettes entre la réserve déjà mentionnée et le point d'eau le plus proche (lac ou cours d'eau). Ceci nécessite l'utilisation d'une seconde motopompe thermique et d'une certaine longueur de conduits démontables.

L'alimentation en électricité de l'ensemble (moteurs du simulateur, des électropompes, recharge des batteries etc.) est assurée par un groupe électrogène de 5 KVA.

## ***V.2. Les parcelles***

Le simulateur de pluies arrose une couronne circulaire d'environ 200 m<sup>2</sup> à l'intérieur de laquelle on isole deux parcelles rectangulaires de 50 m<sup>2</sup> (10 mètres sur 5). L'ensemble de ces parcelles constitue un bloc rectangulaire de 10 mètres sur 13 qu'il s'agit tout d'abord de positionner convenablement sur le terrain.

Dès que la reconnaissance pédologique permet de retenir un ou plusieurs sites expérimentaux, si possible selon la ligne de plus grande pente pour pouvoir disposer du maximum de différenciations sur la plus courte distance (toposéquence), on se préoccupe de la méso-topographie et des états de la surface du sol. On utilise alors le plan coté d'une zone carrée de quelque 4 à 500 m<sup>2</sup>, choisie en raison de sa représentativité (critères précédents), mais aussi dépourvue d'obstacles trop importants (à cause des déplacements du simulateur) et paraissant plane à l'œil nu.

En pratique, on matérialise d'abord ce carré par deux lignes perpendiculaires de piquets qui servent de base à un levé topographique précis selon un quadrillage à maille de 2m x 2m. Après avoir tracé les courbes de niveau sur le plan (cf. figure III.2.), on positionne le couple de parcelles dans le domaine où le parallélisme et l'équidistance de ces courbes paraissent être le mieux respecté. Cette opération est importante car c'est elle qui conditionne le parcours des filets d'eau de ruissellement selon la ligne de plus grande pente, donc parallèlement aux limites latérales de la parcelle, et, par suite, la simulation correcte d'un événement naturel.

Les parcelles sont ensuite balisées au cordeau sur le terrain puis délimitées en amont et latéralement par des bordures en tôle de 20 cm de hauteur enfoncées de 10 cm dans le sol. A l'aval, sur toute la largeur de la parcelle, on pratique une tranchée à bords francs où vient s'adapter un canal en tôle préfabriqué, destiné à collecter les eaux de ruissellement vers les dispositifs de mesure des débits liquides et solides.

Afin d'éliminer les risques de pertes ou d'apports parasites de ruissellement, on condamne toute communication de surface entre les parcelles et l'anneau de garde de quelque 100 m<sup>2</sup> en assurant l'étanchéité des bordures et canaux par des joints de goudron à la jonction des différents éléments métalliques. Enfin, pour éviter que les gouttes de pluie n'atteignent directement les canaux, on recouvre ceux-ci par d'étroites toitures en tôle inclinées vers l'aval et débordant légèrement au dessus du sol des parcelles.

### *V.3. Les dispositifs de mesure*

La hauteur totale des averses est contrôlée par deux pluviomètres linéaires de 2 000 cm<sup>2</sup> de surface réceptrice (5 cm x 400 cm) qui permettent de connaître les intensités réelles des averses délivrées. Un troisième pluviomètre linéaire disposé entre les parcelles est branché sur un dispositif enregistreur construit à partir d'un limnigraphe à mouvement rapide fonctionnant comme un pluviographe et permettant de contrôler la conformité des intensités préréglées sur le simulateur.

Un anémomètre totalisateur est relevé à intervalle de temps régulier au cours des essais dans le but de déceler une éventuelle influence du vent sur la dispersion des mesures pluviométriques. Pratiquement, les données du simulateur deviennent inexploitable au-delà de 7 km/h de vent, ce qui oblige souvent, en zone sahélienne, à opérer de nuit.

Quant au ruissellement, il est connu sur chaque parcelle par les volumes écoulés, cumulés et enregistrés dans une cuve calibrée au moyen d'un limnigraphe. La capacité de la cuve (environ 200 l) qui correspond à une lame ruisselée de 4,0 mm, est généralement inférieure au volume ruisselé d'une averse. Pour cette raison, elle est automatiquement vidée peu de temps avant chaque risque de débordement. On utilise pour cela une électropompe dont le déclenchement est commandé par un flotteur-interrupteur. Le limnigraphe enregistre donc une courbe en "dents de scie" correspondant aux remplissages et aux vidanges successifs. Les périodes de non enregistrement (vidange) sont suffisamment courtes pour ne pas perturber les dépouillements ultérieurs. Compte tenu des dimensions de la cuve, de la parcelle, de la vitesse du mouvement du limnigraphe, les lames d'eau enregistrées sont connues à 0,025 mm près et les temps à 10 secondes près, ce qui entraîne une précision satisfaisante sur les intensités de ruissellement surtout aux plus faibles débits.

La prise d'échantillons pour mesure des turbidités est réalisée dans des récipients calibrés par prélèvement direct au niveau du déversoir du canal ; comme l'on se place en amont de la cuve réceptrice, la méthode permet l'enregistrement du prélèvement sur le limnigramme et fournit aussi un contrôle des temps.

Dans des conditions de difficultés moyennes de terrain, et avec l'aide d'une équipe entraînée, le premier couple de parcelles peut être installé en deux jours et les essais peuvent commencer le matin du troisième jour. Ensuite les installations et essais se font en continu car il est prévu des périodes d'arrêt entre ces essais (ressuyage du sol) permettant d'installer les autres sites et d'effectuer les observations et manipulations annexes.

## **CHAPITRE VI**

### **LES PROTOCOLES EXPERIMENTAUX**

#### **VI.1. Le traitement des parcelles**

Il varie selon les régions étudiées : dans de nombreux cas, l'une des parcelles de chaque couple est sélectionnée selon un critère de représentativité optimale. On peut ainsi la laisser en son état naturel de fin de saison sèche, et tester de façon complémentaire les différents états de surface d'un même sol (pellicule nue, ensablement éolien plus ou moins enherbé, épandage d'éléments grossiers etc.). En d'autres cas, on simule des averses sur des parcelles récemment cultivées donc présentant une plus ou moins importante rugosité liée aux façons culturales et à leur ancienneté (billonnage, buttage etc.). On peut également imiter certaines façons culturales traditionnelles ou plus élaborées.

La seconde parcelle du couple reçoit, par contre, toujours le même type de préparation : le sol est retourné à la houe puis est débarrassé de tous débris végétaux aériens et souterrains selon des normes se rapprochant le plus possible de celles préconisées par WISCHMEIER, SMITH et UHLAND (1958) ; WISCHMEIER (1959, 1960) ; WISCHMEIER, SMITH (1960, 1978). Ce "labour de référence" remanie le sol sur une profondeur de 15 à 20 cm, ce qui fait disparaître, par pulvérisation et enfouissement les organisations superficielles et homogénéise les premiers horizons. De ce fait, la répartition de la charge en éléments grossiers peut se trouver modifiée, il en va de même pour la texture de ces premiers horizons qui peuvent, en l'état naturel, être plus ou moins intensément appauvris en colloïdes minéraux. Ce sol labouré est ensuite griffé superficiellement sur 3 cm tous les 70 cm à l'aide d'une planche à clous pour favoriser l'orientation des filets de ruissellement dans le sens de la plus grande pente, en principe déjà fixé lors du positionnement des parcelles dans l'aire nivelée.

Ce dernier traitement vise à caractériser une érodibilité maximale des sols dans toutes les régions du monde où cette procédure est adoptée.

#### **VI.2. Caractéristiques des séquences pluvieuses**

Pour une parcelle donnée, les principaux facteurs hydriques susceptibles d'intervenir sur les caractéristiques du ruissellement et de l'érosion

sont l'état d'humectation initial du sol, la hauteur de l'averse et son intensité. En conséquence, un programme d'essais entièrement satisfaisant devrait comprendre un nombre d'averses suffisant pour permettre l'étude du rôle de chacun de ces facteurs indépendamment les uns des autres. Il conviendrait donc de définir quelques états initiaux d'humectation dont un très sec et l'autre voisin de la saturation, puis d'appliquer sur chacun d'eux la gamme des intensités préréglées sur le simulateur en faisant varier aussi les hauteurs d'averses. En pratique, il est clair que la mise en oeuvre d'un tel protocole conduirait, d'abord à un nombre d'averses prohibitif, ensuite à s'éloigner des conditions pluviométriques naturelles de chaque région, enfin à une immobilisation du matériel sur un même site incompatible avec le caractère d'étude extensive que présentent les différentes missions.

On s'est donc surtout appliqué à respecter les contraintes issues des caractéristiques des pluies naturelles. On a utilisé pour cela les résultats des travaux menés par BRUNET MORET entre 1963 et 1967 et qui permettent de connaître, pour les différentes zones climatiques de l'Ouest africain, la durée d'averses par classes d'intensité et ce, pour des périodes de différentes récurrences. Le tableau XXXII résume quelques-unes de ces informations concernant plus précisément le transect étudié.

=====

**Tableau XXXII**  
Durées des averses pour quatre intensités de pluies  
selon des périodes de récurrences annuelles et décennales  
sur les différents sites étudiés

SITES	réc.	hj.	tu30	tu60	tu90	tu120:
1	2	3	4	5	6	7
GALMI	1	60	90	33	15	?
	1/10	110	165	65	27	17
OURSI	1	50	70	28	13	?
	1/10	90	140	55	23	13
KONGOUSSI	1	55	75	29	14	?
	1/10	105	160	58	26	15
KORHOGO	1	80	140	36	15	<10
	1/10	120	200	60	24	15
SAKASSOU	1	70	120	35	17	<10
	1/10	115	180	50	22	13
TAÏ	1	90	150	37	17	10
	1/10	130	220	60	25	15

**Légende**

colonne 1 = sites expérimentaux où sont intrapolées les données de BRUNET MORET,  
 colonne 2, réc. = périodes de récurrence, soit de fréquence annuelle (1), soit de fréquence décennale (1/10),  
 colonne 3, hj. = hauteurs de pluie journalières de probabilité annuelle (1) ou décennale (1/10), en mm.,  
 colonnes 4 à 7, tu 30...120 = temps utile ou durée des averses (minutes) pour des intensités de 30, 60, 90 et 120 mm/h, pour les deux périodes de récurrence

=====

Les événements climatiques simulés dépendent des situations naturelles rencontrées ou expérimentales désirées. Les protocoles sont donc modulés selon les sites. Dans de nombreux cas, il est apparu intéressant de simuler des événements relativement exceptionnels (occurrence décennale) pour pouvoir obtenir rapidement les intensités limites de ruissellement, qui constituent une base de départ à d'autres investigations, et pour détecter les effets de ces événements sur une érosion non insidieuse (cf. quatrième partie, chapitre X). Pour les missions les plus lointaines, on imite le comportement de sols recevant les premières pluies à l'issue d'une plus ou moins longue saison sèche. Cependant, en zone guinéenne, il a été possible de maintenir les parcelles en place durant tout un cycle végétal pour tester ces comportements en saison sèche et en pleine saison des pluies (SAKASSOU et TAÏ). Pour ce faire, s'est posé alors le problème de la protection contre les précipitations naturelles : on a alors utilisé de grandes bâches protégeant l'une ou l'autre des parcelles. On utilise également cette protection pour allonger le temps de ressuyage entre des averses consécutives, seule l'une des deux parcelles restant découverte, donc arrosée.

Le tableau XXXIII présente un exemple de protocole expérimental utilisé sur plusieurs sites du bassin versant de GALMI.

Sur un site, ce protocole dure de 15 jours à trois semaines pour pouvoir combiner les différents paramètres de situation et d'événement : temps de ressuyage du sol entre les averses, intensités, durées de ces averses, et aussi pour disposer d'un temps suffisant pour les tests culturaux.

Tableau XXXIII  
 Protocole expérimental sur les trois couples de parcelles  
 des sites GALMI 1 et GALMI 3.

JOURNEES:					
COUPLES DE PARCELLES					
Nat + Lab:		--Billonnées--			
		Iso.Dr. + Iso.Gch		Long.Dr. + Long.Gch:	
I/tu	ta:	I/tu	ta:	I/tu	ta:
1	2	3	4	5	6
==DEBUT==					
1 mat.: 60/60' ∞					
soir:					
2 mat.: 30/100' 10h					
soir: 60/60' 10h:					
=====DEBUT=====					
3 mat.:		60/ 60'	∞		
soir:		30/100'	10h		
--semis--					
4 mat.:		60/60'	10h		
		60/30'	4h		
soir:		90/25'	10h		
5 mat.: 60/60' 60h:					
		60/30' 4h:			
soir: 90/25' 10h:					
6 mat.:		60/60' 36h	#####		
soir:		60/30' 1h:	#####		
			#####		
7 mat.: 60/60' 36h:			#####		
		60/30' 1h:	#####		
		et 120,90:	#####		
soir: 60,30/#tu'			#####		
		après 10h:	#####		
			#####		
8 mat.:		120,90,	#####		
		60,30..	#####	=====DEBUT=====	
soir:		#tu' 48h:	#####	60/60'	∞
			#####		
9 mat.:			#####	30/100'	10h
		120/15' 24h	#####		
soir: 120/15' 1h:			#####		
==FIN==					
10 mat.:			sarclage	60/60' 10h:	
			et	60/30' 4h:	
soir:			billonnage:	90/25' 10h:	
11 mat.:		60/60' 60h	60/60' 160h:		#####
					#####
11 soir:		120,90,60,30/ # tu'			#####
			après 10h		#####
					#####
=====FIN=====					
12 mat.:			120,90,60:	#####	
			30/ # tu'	#####	
soir:			après 36h:	#####	
				#####	
13 mat.:				#####	
				#####	
soir:				#####	
14 mat.:				sarclage:	
				et	
soir:				billonnage	
15 mat.:				60/60' 60h:	60/60' 160h
				120,90,60,30/ # tu'	
soir:					après 10h
					=====FIN=====

## Légende

colonne 1 = JOURNEES - comptées à partir de la première averse simulée, celle-ci pouvant avoir lieu soit le matin, soit dans le courant de la soirée,

colonnes 2 à 6 = protocoles appliqués sur les différentes parcelles des couples avec :

- (2) couple de parcelles "état naturel" et "labourée",
- (3) et (4) couple de parcelles billonnées isohypes (droite et gauche),
- (5) et (6) couple de parcelles billonnées selon la ligne de plus grande pente (droite et gauche),
- rangée I/tu, ta - intensité de l'averse simulée pendant une période de temps utile "tu", et temps d'arrêt (ta) entre deux averses consécutives - par exemple au jour J + 1 l'averse est de 60 millimètres par heure pendant une heure, elle advient après une longue saison sèche (ta # ∞),

### signifie que la parcelle est protégée par une bâche, ce qui permet d'en allonger le temps d'arrêt,

==DEBUT== et ==FIN== marquent le début et la clôture des essais sur un couple de parcelles,

120,90,60,30 / # tu'- il s'agit d'un train d'averses d'intensités décroissantes mais de hauteurs identiques (souvent # 20 mm).

=====

Ces protocoles sont élaborés afin de perdre le moins de temps possible entre les différents couples d'un même site ; les temps d'arrêt suffisamment longs étant utilisés pour déplacer l'appareil d'un couple à l'autre, parfois d'un site à l'autre. On s'efforce de disposer d'une gamme de période de ressuyage la plus étalée possible ; généralement ces temps d'arrêt (ta) sont les suivants :

- plusieurs mois (ta # "∞") correspondant au début de l'intervention sur un sol sec (humidité proche ou en deçà du point de flétrissement permanent dans les régions sahéliennes),
- 4 à 7 jours (profil à la capacité au champ),
- 1 à 2 jours (horizons supérieurs à la capacité au champ),
- quelques heures (1 à 10) (organisations superficielles à la capacité au champ),
- 10 à 30 minutes (sol saturé, ressuyage des premiers centimètres).

## VI.3. Autres opérations effectuées sur le simulateur

Le couple de parcelles fournit, par averse, deux enregistrements limnigraphiques qui sont analysés rapidement sur le terrain pour éventuellement réorienter la suite du protocole. La procédure du dépouillement complet et précis et l'obtention des données élaborées est plus longue, elle ne sera pas abordée ici.

Concernant la vérification des intensités des pluies préréglées, on utilise le hyétogramme fourni par le pluviographe linéaire ; il est ainsi

possible de détecter toutes les variations accidentelles d'intensité pendant la durée des essais (incidents techniques ou influence d'un vent latéral) et de tenir compte de ces intensités réelles dans le dépouillement des limnigrammes.

Concernant le dépouillement du limnigramme permettant d'accéder aux intensités du ruissellement, on vérifie la synchronisation des prélèvements avec les instructions chronométrées fournies aux opérateurs, la conformité des temps de début et de fin d'averse, de début et de fin du ruissellement. On considère qu'un ruissellement démarre lorsque l'on passe d'un écoulement au goutte à goutte à un écoulement en filet continu au niveau de la goulotte du canal de ruissellement (observation inverse pour détecter la fin du ruissellement).

Concernant l'érosion, il convient de connaître la turbidité des eaux admises à l'appareil afin de retrancher cette "surcharge" de ce qui correspond réellement à l'érosion de la parcelle ; cette opération nécessite des prélèvements fréquents effectués au niveau de la réserve d'eau alimentant le simulateur. On vérifie enfin avant chaque essai la propreté du canal de ruissellement où peuvent s'être accumulés des atterrissements provenant parfois de sols à forte détachabilité mais à faible intensité de ruissellement.



## **CHAPITRE VII**

### **LES AUTRES DETERMINATIONS DE TERRAIN**

Les données expérimentales ne présentent un intérêt que si elles se rattachent à un milieu dont il convient de connaître les caractéristiques. Par milieu, il faut entendre le sol, son environnement et son utilisation .

#### ***VII.1. Représentativité des milieux et caractérisation morphologique des sols***

L'installation des sites expérimentaux est précédée d'une reconnaissance pédologique souvent assortie d'une enquête agronomique sur la région de l'étude. La reconnaissance pédologique utilise tous documents existant et complète l'information par des sondages, ouvertures de fosses, observations de coupes naturelles, observation des états de surface. L'enquête agronomique précise les façons et calendriers culturaux, les principales productions, et souvent aussi la connaissance des "terres" telle qu'elle est perçue par les agriculteurs. La synthèse de ces informations permet, d'une part, de concilier différenciations pédologiques et considérations matérielles exigées pour la mise en oeuvre de l'ensemble du dispositif (distance du point d'eau, possibilités de déplacement d'un site à l'autre etc.) et d'autre part, d'élaborer un protocole réaliste compte tenu des pratiques culturelles régionales. Cette phase préliminaire est généralement réalisée à l'occasion d'une mission préliminaire car elle demande quelque temps, son antériorité à toute expérimentation permet aussi d'avoir une vision générale des contraintes que présentera la mission proprement dite.

La caractérisation des sols et de leur environnement ne pose pas de problèmes particuliers, il s'agit de descriptions codifiées selon des normes utilisées classiquement par les pédologues et dont des exemples peuvent être consultés dans l'annexe.

#### ***VII.2. Caractérisations chimique et physique des sols***

Si la description morphologique des sols fournit déjà des informations permettant de prévoir des comportements liés à la nature des horizons et de leurs transitions verticales et latérales, elles doivent être "recalées"

par des analyses de laboratoire ainsi que par des expérimentations de terrain permettant de quantifier certains paramètres physiques .

### *VII.2.1. Analyses de laboratoire*

Elles concernent des déterminations exigeant des moyens non disponibles sur le terrain : il s'agit de caractériser les teneurs en matière organique, la granulométrie, la garniture cationique du complexe absorbant, la nature des argiles minéralogiques des argiles, précisant l'importance des volumes poreux (donc également les relations eau-sol) et, enfin, la stabilité des structures. Ces différents résultats sont présentés sous forme de tableau en annexe.

### *VII.2.2. Expérimentations annexes de terrain*

Elles ont trait à toutes déterminations permettant de définir le statut hydro-gazeux des sols ainsi que leur bilan hydrique. Elles permettent de connaître, d'une part, les "humidités repères" bornant les domaines des différents types de circulation de l'eau telles que la capacité au champ et le point de flétrissement permanent (déterminé en laboratoire) et, d'autre part, les dynamiques de saturation et de ressuyage par tranches de sol, avant, parfois pendant, et après les essais. On combine pour cela la détermination des densités apparentes (expression volumique des teneurs en eau et porosité totale en connaissant, a posteriori, la densité réelle) et celle des profils hydriques des sols.

La première détermination utilise soit le densitomètre à membrane, soit la méthode des cylindres calibrés.

Pour la seconde détermination, on a combiné différentes méthodes faisant appel, soit aux mesures neutroniques (sonde à neutrons), soit aux sondes à chocs thermiques (POUYAUD, CHARTIER, 1971 ; POUYAUD, 1975 ; POUYAUD, CHEVALLIER, VALENTIN, 1980), soit, enfin, aux mesures pondérales (tarière). Les deux premières méthodes nécessitent l'implantation de tubes ou d'électrodes dans le sol non remanié de la parcelle, la troisième méthode est destructrice et oblige donc à travailler dans l'anneau de garde recevant les mêmes averses que les parcelles. Elle présente aussi l'inconvénient de traiter, pendant la mission, un nombre très important d'échantillons de terre humide (séchage et pesée), mais a cependant été utilisée pour remédier aux pannes fréquentes de la sonde à neutrons.

### *VII.3. Caractérisation des organisations de la surface du sol*

De nombreuses études ont prouvé l'intérêt d'intégrer dans la caractérisation des milieux expérimentaux toutes informations concernant la nature et l'extension latérale des organisations biologiques et minérales situées à l'interface pedo/bio/atmosphère (ROUGERIE, 1960 ; PLOEY de, MOEYERSON, 1975 ; BLIC de, 1977 ; PLOEY de, 1978, 1980 ; COLLINET, LAFFORGUE, 1979 ; COLLINET, VALENTIN, 1979, 1980 ; ESCADAFAL, 1981 ; VALENTIN, 1981 ; CASENAVE, 1982 ; BOIFFIN, 1984 ; CHEVALLIER, 1986 ; ALBERGEL, 1987 ). Ces organisations sont le lieu où s'organise le ruissellement et où se mobilisent les éléments érodibles.

Elles sont également métastables, réagissent aux contraintes qui leur sont appliquées et contrôlent plus ou moins étroitement la conductibilité hydraulique des horizons pédologiques sous-jacents. La caractérisation de ces organisations et leur mode de représentation sont des domaines de recherche relativement récents, ils ont donc évolué depuis 1975, année de la première mission sur le terrain et l'époque actuelle. On ne retracera donc ici que les premières démarches méthodologiques appliquées à des parcelles de quelques dizaines de mètres carrés.

### *VII.3.1. Identification des principales organisations superficielles*

Cette identification est orientée en fonction des modifications de comportement que ces organisations superficielles sont susceptibles d'apporter sur l'hydro-dynamique superficielle et sur la détachabilité des sols. Dans cette étude, ont été repérées les organisations suivantes.

- Des épandages d'éléments grossiers sur la surface du sol, il s'agit surtout de gravillons ferrugineux de diamètre souvent compris entre 0,5 et 3 cm. Autant que possible, on notera leur situation par rapport à la surface du sol, c'est à dire s'ils sont posés ou enchâssés dans les premiers micro-horizons.

- Des recouvrements sableux meubles ou légèrement cohérents : il s'agit soit de sables fins et de limons grossiers d'origine éolienne dans les zones septentrionales, soit d'atterrissements liés à la circulation des eaux de surface; les types de dépôts et leurs stratifications permettent généralement de trancher entre les deux origines.

- Des pellicules consolidées d'éléments fins : également appelées "croûtes", ces pellicules donnent à la surface du sol un aspect lisse, parfois brillant ; elles sont, le plus souvent, démunies de tout couvert végétal (sauf parfois, algues ou lichens les consolidant).

- Des débris végétaux morts, soit accumulés sur la surface du sol en une strate plus ou moins dense, épaisse et continue, soit encore érigés à partir de leur système racinaire. Il est alors important de noter l'équidistance moyenne des touffes ainsi que la hauteur atteinte par les chaumes érigés.

- Des végétaux vivants dont on décrit strates par strates la composition ou, au moins, le port (structure horizontale ou verticale), les taux de recouvrement en sommet de strates et au niveau du sol (collets).

- Des édifices biotiques tels que les turricules de vers, les termitières, etc..

Une "charte de détermination" de ces organisations superficielles et des surfaces représentatives où elles se trouvent associées ou juxtaposées est présentée dans un ouvrage de CASENAVE, VALENTIN (à paraître 1988).

Figure 4 : GALMI. Site I. Parcelle A, couple A  
(42 heures après l'averse)

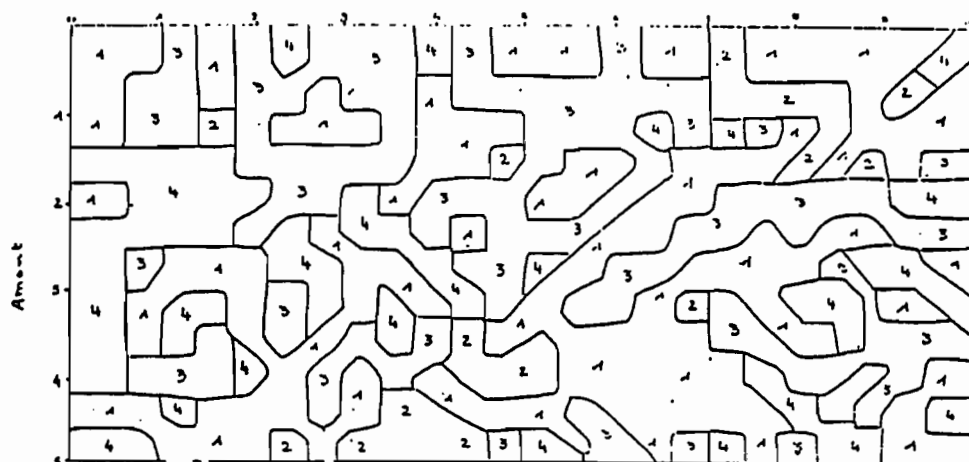


Figure 5 : GALMI. Site I. Parcelle A, Couple B  
(Après les averse)

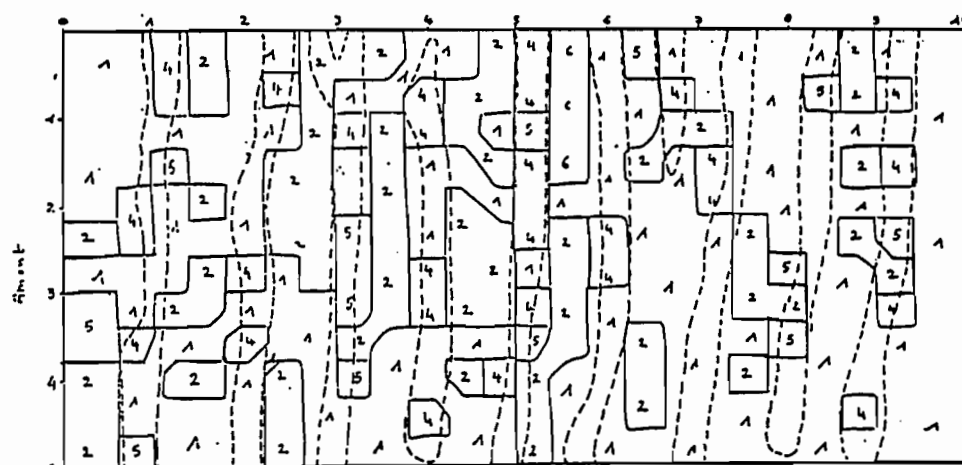


Figure 6 : GALMI. Site I. Parcelle A, Couple B.  
(Après quelques averse)

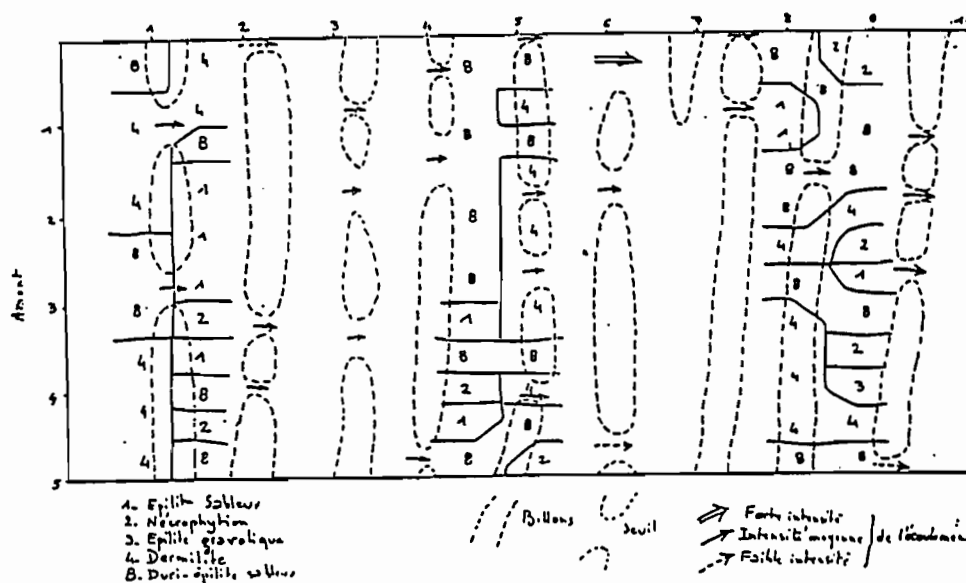


Fig. III.3.: Exemple de représentation cartographique des organisations superficielles du sol d'une parcelle (d'après un document de terrain de BEAUDOU, COLLINET, 1980).

### *VII.3.2. Représentation des principales organisations superficielles*

Elle est fondée sur une méthode inspirée de celle des "points quadrats" utilisée par les botanistes et les agronomes pour déterminer la densité des peuplements végétaux. On utilise un cordeau de 5 m munis de repères espacés de 40 cm ; on déplace ce cordeau parallèlement à la bordure amont de la parcelle jusqu'au canal de ruissellement selon des segments de 40 cm. On identifie chaque organisation superficielle à l'aplomb des repères en utilisant une terminologie synthétique permettant une combinatoire, notamment pour définir les organisations composites (ensablement + débris végétaux p. ex.) ; cette terminologie est codée et reportée sur un papier millimétré qui présentera donc en fin de relevé 325 points. Il est ensuite possible de faire une représentation cartographique des organisations couvrant la parcelle, comme celle qui est reproduite sur la figure III.3. (BEAUDOU, COLLINET, 1980), et aussi d'en évaluer les proportions relatives. Il est également possible d'ajouter des informations topographiques concernant, par exemple, les dimensions des façons culturales (amplitude et période des billons p. ex.)

### *VII.3.3. Description des organisations superficielles et prélèvements*

La procédure précédente ne fournit qu'une vue en plan des organisations. Chacune d'entr'elles est également décrite en coupe selon une méthode s'apparentant à celle utilisée pour différencier les horizons des profils pédologiques sous-jacents. Mais, bien évidemment, l'échelle de leur observation est nettement plus grande puisque ces organisations ne dépassent guère quelques centimètres d'épaisseur tandis que les microhorizons ne s'y différencient souvent que sur quelques millimètres. Différents types d'organisations sont décrits et schématisés dans l'annexe. On arrive cependant, ici, en limite des possibilités d'une identification macromorphologique. Si celle-ci s'avère suffisante, dans la plupart des cas, pour prévoir des comportements hydrodynamiques ou reconstituer des phases érosives, il devient par contre nécessaire d'accéder à un autre niveau d'analyse pour comprendre les mécanismes. Pour cela on effectue des prélèvements de tranches superficielles de sol, ces échantillons sont imprégnés de résine, débités en tranches polies puis en lames minces pour des examens au microscope optique polarisant et, éventuellement, au microscope électronique à balayage permettant de reconnaître les types d'argile et le mode de stratification des cristallites.

### *VII.4. Conclusion partielle*

Cette méthode permet un contrôle des événements climatiques et une multiplication des situations expérimentales. Elle peut cependant paraître lourde et complexe, compte tenu des moyens techniques à mettre en oeuvre.

C'est pour répondre, en partie, à ce grief qu'un deuxième type de simulateur de pluie a été construit et mis au point depuis 1979 par une équipe de pédologues et d'hydrologues du Centre ORSTOM d'Adiopodoumé. Il s'agit de l'infiltromètre à aspersion, également dénommé "mini-simulateur", qui permet de réaliser des averses continues d'intensités variables sur une cadre infiltrométrique de un mètre carré. Il permet donc une meilleure imitation de

trains d'averses, des perfectionnements récents faisant usage de l'électronique permettent une régie semi-automatique des protocoles et de descendre sous 30 mm/h d'intensité. Il semble bien que ses performances au niveau d'une caractérisation hydrodynamique des sols soient voisines de celles du grand simulateur sur des surfaces élémentaires homogènes

Il lui est, par contre, difficile de caractériser toutes les composantes de l'érosion compte tenu de l'exiguïté de sa parcelle, mais le "grand simulateur" est également limité pour ce type d'analyse. La comparaison des deux méthodes amène les commentaires suivants :

- ni l'un, ni l'autre de ces appareils ne peuvent révéler tous les facteurs intervenant dans l'érosion et notamment le rôle du profil du versant (systèmes de pentes),

- mais le grand simulateur peut prendre en compte l'hétérogénéité élémentaire du milieu, notamment celle liée à la microtopographie, ce qui nous semble fondamental pour comprendre la partition entre l'érosion en nappe et l'érosion concentrée,

- en fait, les deux appareils sont complémentaires et ont d'ailleurs été utilisés conjointement sur les différents sites d'OURSI pour pouvoir identifier les comportements hydrodynamique superficiels spécifiques des surfaces élémentaires

Tout au long des missions, il apparaît qu'un soin particulier doit être porté sur l'élaboration des protocoles expérimentaux allant dans le sens d'un allongement des temps de ressuyage et l'obtention d'intensités plus faibles mais d'énergie compatibles avec celles des pluies naturelles. Il faudrait aussi s'efforcer de maintenir en place la même parcelle pendant un cycle complet de la végétation pour augmenter le nombre des situations expérimentales.

QUATRIEME PARTIE  
PREMIER NIVEAU D'ANALYSE :  
ETUDE EXPERIMENTALE DES COMPORTEMENTS  
HYDRODYNAMIQUES ET EROSIFS  
GLOBAUX DES SOLS

La caractérisation des sols des différents sites expérimentaux, présentée dans la **seconde partie**, était orientée sur l'identification des traits pédologiques les plus susceptibles d'interférer sur leur hydrodynamique ou sur leur érodabilité. On a pu constater qu'à d'importantes différences morphologiques ne correspondaient pas forcément des modifications aussi sensibles de leurs capacités hydriques. Il est également apparu que des sols morphogénétiquement très éloignés pouvaient présenter de fortes similitudes dans la distribution de leur porosité, ainsi que dans la nature des contraintes réglant la circulation de l'eau libre.

Jusque très au sud (SAKASSOU), existent à la surface des organisations structurales comparables plus ou moins pérennes dont on se doute déjà, sectoriellement, de leur rôle de contrôle exercé sur la conductivité hydraulique.

On aborde, dans cette **quatrième partie**, l'étude expérimentale proprement dite qui se fonde sur des enregistrements livrés par le dispositif décrit dans la **troisième partie**. Leur traitement, permettant d'obtenir les données de base, sera d'abord évoqué dans le chapitre VIII, elles sont en effet à l'origine de tous autres développements. Dans le chapitre IX, concernant l'hydrodynamique, ou le chapitre X, portant sur l'érosion, les premiers paragraphes présenteront les réactions globales des sols des différents sites en utilisant les valeurs cumulées sur l'ensemble des essais, ceci afin de pouvoir dégager un classement des comportements.

Ce premier niveau d'analyse nous amènera à discuter, dans le chapitre XI, les limites d'utilisation de la formule de prévision des pertes en terre de WISCHMEIER et SMITH puis, dans le chapitre XII, à faire le point, sur les paramètres de situation (sols, traitements, environnements) et d'évènement (contraintes pluviales) qui seront l'objet du second niveau d'analyse de la cinquième partie.





## **CHAPITRE VIII**

### **LES DONNEES D'OBSERVATION**

Le dépouillement des enregistrements limnigraphiques et le traitement en laboratoire des échantillons d'eau turbide permettent d'obtenir, pour chaque essai, deux hydrogrammes et deux turbidigrammes relatifs aux parcelles du couple. Comme ces courbes sont le point de départ des analyses ultérieures, nous nous proposons d'en donner une description générale et de définir les principales caractéristiques qui seront retenues comme données de base en précisant le choix des symboles et celui des unités.

On a regroupé, en annexe, la totalité des données sous la forme d'un listing de données présentant :

- les caractéristiques des averses simulées sur tous les couples de parcelles,
- les caractéristiques du ruissellement et de l'infiltration,
- les caractéristiques de l'érosion.

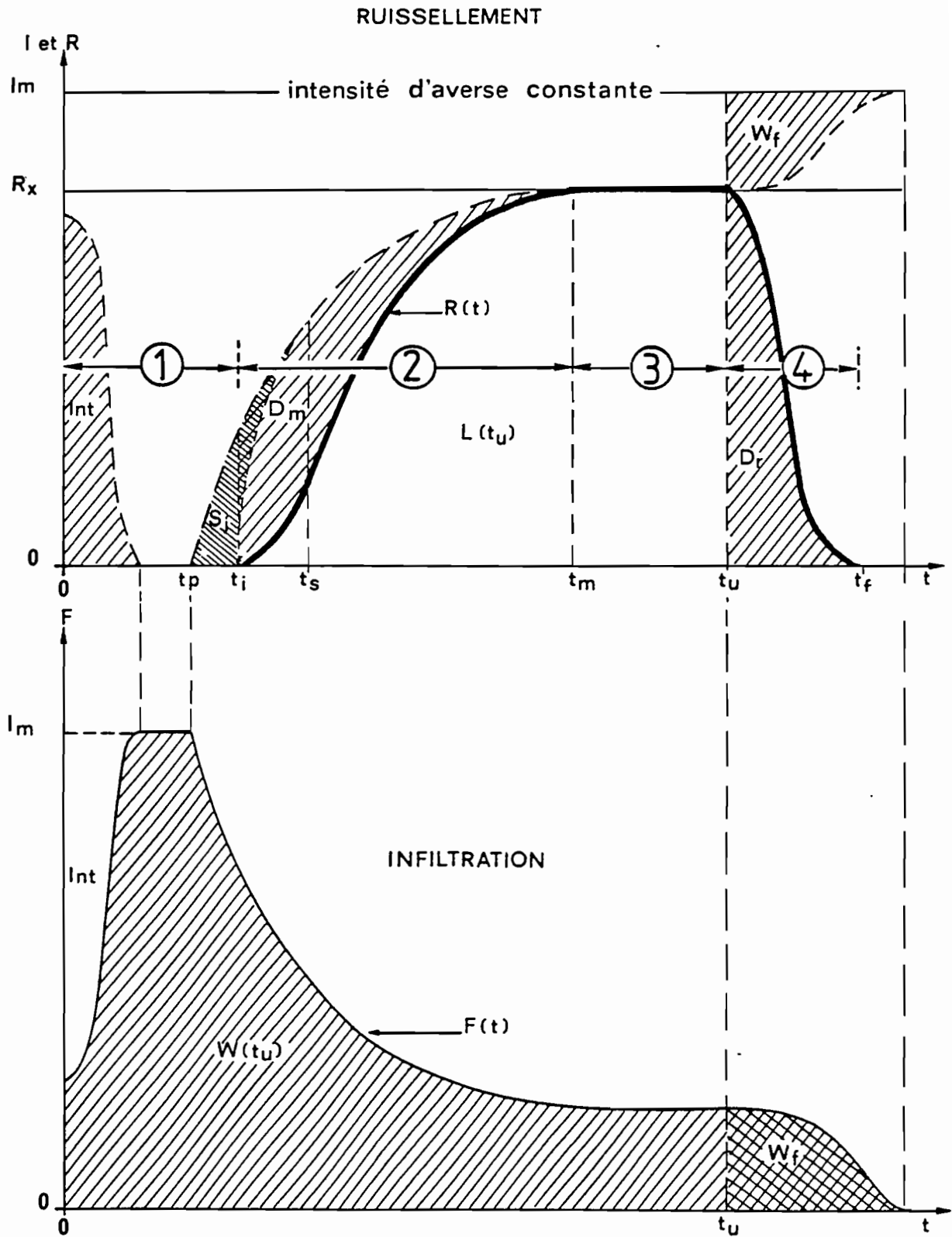
#### ***VIII.1. Description générale des phénomènes observables et définitions***

##### ***VIII.1.1. Les processus de ruissellement***

La figure IV.1. est la traduction graphique du processus généralement observé à l'exutoire d'une parcelle (COLLINET, LAFFORGUE, 1975 ; LAFFORGUE, 1977 ; COLLINET, LAFFORGUE, 1979 ; COLLINET, VALENTIN, 1979 ; VUILLAUME, 1981).

Le temps "t" a été porté en abscisse avec, pour origine, l'instant correspondant au début de la pluie. L'unité de temps généralement adoptée est la minute sur les graphiques. En ordonnée sont portées en millimètres par heure (mm/h) les variations d'intensité des différentes termes du bilan qui sont :

- la hauteur de pluie cumulée  $P(t)$  à laquelle correspond l'intensité de la pluie  $I(t)$ ,
- la lame d'eau ruisselée cumulée  $L(t)$  à laquelle correspond l'intensité du ruissellement  $R(t)$ ,



**Fig. IV.1.:** Hydrogramme théorique de la pluie, du ruissellement et de l'infiltration.

- la lame d'eau infiltrée cumulée  $W(t)$  à laquelle correspond l'intensité d'infiltration  $F(t)$ ,
- la lame d'eau stockée à la surface de la parcelle  $S(t)$ .

Si l'intensité d'averse pré-réglée sur l'appareil est constante, ce qui est le cas en l'absence de rafales de vent ou d'incidents mécaniques, le hyétogramme de l'averse simulée est représenté par un segment de droite d'ordonnée  $I(t) = I_m$ .

L'hydrogramme du ruissellement est représenté par quatre portions de courbes correspondant à des phases bien individualisées du processus ce, à condition que l'averse soit suffisamment longue pour permettre leurs différenciations : (1) une phase d'imbibition ( $R = 0$ ), (2) une phase transitoire ( $R$  croissant), (3) une phase de régime permanent ( $R$  constant) et, enfin, (4) une phase de vidange.

#### (1) La phase d'imbibition

Depuis le début de la pluie ( $t_0$ ) jusqu'à l'instant  $t_i$ , on n'observe aucun ruissellement à l'exutoire. Au début de cette phase, l'intensité d'infiltration potentielle de la parcelle ( $F_0$ ) est partout supérieure à l'intensité de la pluie. Puis, une certaine quantité d'eau commence à remplir les microdépressions des parcelles ; ce volume représente un stockage superficiel immobilisé  $S(t)$ . Cette phase est donc caractérisée par les hauteurs de lames d'eau suivantes :

- hauteur totale de pluie d'imbibition  $P_i$ ,
- hauteur de la lame d'eau à l'apparition du ruissellement :  $S_i$ .

...auxquelles correspondent des hauteurs infiltrées :  $W_i = P_i - S_i$ ,

Au temps  $t_i$  quelques flaques débordent, de l'eau se met en mouvement et parvient au canal de ruissellement, le ruissellement se déclenche.

#### (2) La phase du régime transitoire

La portion d'hydrogramme correspondant à cette phase affecte la forme d'un "S" aux courbures plus ou moins accentuées qui traduit un régime transitoire d'écoulement. Pendant cette phase se combinent trois phénomènes :

- diminution de l'intensité d'infiltration,
- augmentation de l'épaisseur de la lame d'eau en mouvement à la surface de la parcelle, appelée "détention superficielle mobilisable  $D_m$ ",
- augmentation jusqu'à l'instant  $t_s$  du remplissage des flaques qui ne participaient pas jusqu'alors au ruissellement, au-delà du temps  $t_s$ , la totalité de la parcelle ruisselle fournissant une "lame de ruissellement de hauteur  $L$ ".

Compte tenu de ce qui précède, l'équation de continuité relative au bilan, s'écrit :

$$P(t) - L(t) - W(t) - D_m(t) - S(t) = 0 \quad (1)$$

...ou encore, en dérivant pour passer aux intensités

$$I(t) - R(t) - F(t) - dD_m(t)/dt - dS(t)/dt = 0 \quad (2)$$

(3) La phase du régime permanent

A partir du temps  $t_m$  qui marque la fin du régime transitoire, s'instaure un "régime quasi permanent d'infiltration qui atteint une valeur minimale  $F_n$ ". A ce stade, une lame de ruissellement continue, sur les parcelles planes, ou un film humide continu sur l'ensemble des parcelles non planes, est entretenu par la redistribution des gouttes de pluies et, en tous points, l'intensité de la pluie "I" est supérieure à la conductivité hydraulique du sol saturé ( $K_{sat}$ ) ;  $F_n$  s'assimile dès lors à la conductivité de la zone humide ou submergée où l'infiltrabilité est maximale.

Il en résulte donc sur l'hydrogramme, un palier d'intensité maximale du ruissellement  $R_x$  qui se poursuit jusqu'à l'arrêt de la pluie, et l'on a, à l'instant  $t_m$  :

$$R(t) = R_x = I - F_n$$

...et

$$L(t) = L(t_m) + (I - F_n) (t - t_m)$$

(4) La phase de vidange

Au-delà de l'instant  $t_u$  qui marque l'arrêt de la pluie, le ruissellement décroît plus ou moins rapidement pour s'arrêter au temps  $t_f$ . Cette phase de vidange correspond à une diminution des réserves superficielles mobilisables pour le ruissellement et, à chaque moment, se produit une partition entre l'eau qui ruisselle et l'eau qui s'infiltré selon l'équation (2) où disparaît le terme  $I(t)$ . Les quantités d'eau qui continuent à s'écouler pendant cette phase sont, quant à elles, données par l'équation (1) qui se transforme en :

$$L(t_f) - L(t_u) = D_m(t_u) + S(t_u) - S(t_f) + W(t_u) - W(t_f)$$

...et l'on désigne par le temps de "détention superficielle récupérable pour le ruissellement  $D_r$ ", la hauteur de la lame d'eau qui s'écoule après la fin de la pluie, soit :

$$D_r = D_m + S(t_u) - S(t_f) - W_f$$

...avec  $W_f$  correspondant à la lame infiltrée entre les instants  $t_u$  et  $t_f$ .

### VIII.1.2. Les processus d'érosion

Contrairement au tracé de l'hydrogramme qui est l'interprétation graphique de processus continus inscrits sur les limnigrammes, le bilan général de l'érosion ne peut être déterminé que par des mesures discontinues tout au long de l'averse (cf. troisième partie).

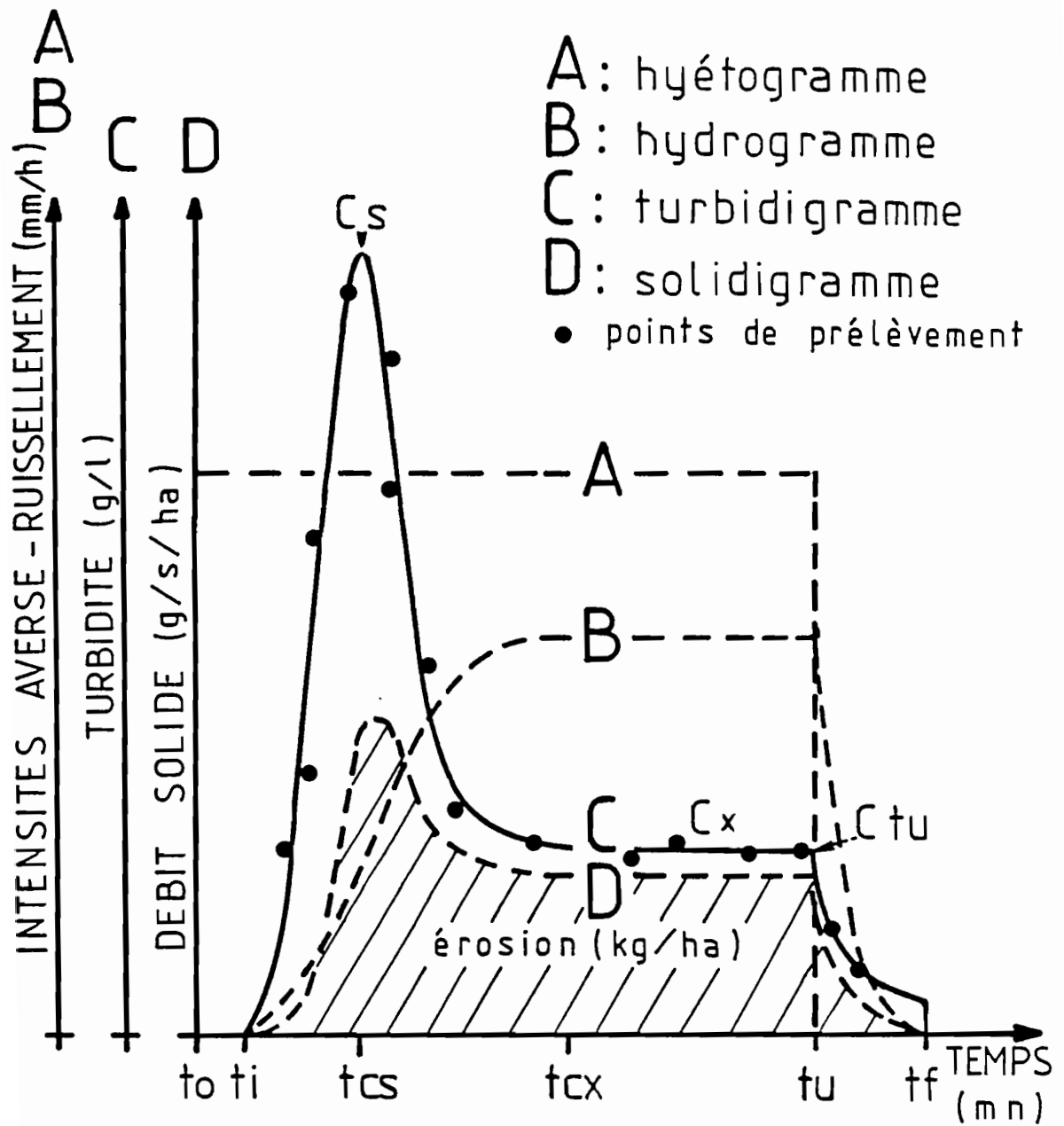


Fig. IV.2.: Turbidigramme et solidigramme théoriques.



On procède en effet à des prélèvements d'échantillons d'eau de volume constant, plus ou moins chargée en matériaux érodés, au niveau du déversoir (schéma de la figure III.1. et planche photographique en annexe).

Pour une pluie donnée, les prélèvements sont effectués à partir d'un seuil  $R(t)$  suffisamment élevé pour ne pas perturber l'enregistrement limnigraphique au-delà de 30 secondes (ce qui permet pratiquement d'opérer à partir d'intensités de ruissellement de 5 mm/h compte tenu de la superficie de la parcelle, du calibrage de la cuve réceptrice et de la démultiplication du système enregistreur). Comme ces prélèvements sont effectués à l'amont du système enregistreur, ils sont repérables par un décrochement de la courbe d'enregistrement limnigraphique qui fournit donc une vérification de l'instant du prélèvement et permet les calculs exacts des débits solides instantanés par la connaissance de l'intensité instantanée du ruissellement.

Les sédiments sont mis à décanter, après floculation au sulfate d'aluminium, récupérés après siphonage du surnageant, séchés et pesés : dans ces conditions, si la surcharge de sulfate d'aluminium est négligeable, celle introduite par l'éventuelle charge solide des eaux admises au simulateur doivent être retranchées.

Il devient alors possible de pointer les résultats sur un graphique de même abscisse temps que l'hydrogramme et l'ordonnée mentionnant les charges solides "C" exprimées en unités de poids par unités de volume (grammes par litre).

On obtient donc, pour un essai donné, une courbe représentative de l'évolution de la détachabilité d'éléments au dépens de matériaux plus ou moins cohérents : cette courbe est le **turbidigramme** (figure IV.2.). Alors que l'hydrogramme du ruissellement est facilement obtenu par lissage d'un enregistrement en continu, la qualité du tracé du turbidigramme dépendra du nombre d'échantillons prélevés. D'autre part, il peut y avoir certaines confusions entre des enregistrements d'"accidents" (mauvais fonctionnement du canal de ruissellement) et des variations significatives de cette turbidité. La multiplicité des essais et l'observation du terrain ont, dans la majeure partie des cas, permis de distinguer les incidents des faits réels pour réaliser des tracés objectifs.

La conjugaison de l'hydrogramme et du turbidigramme permet d'obtenir une autre courbe, le **solidigramme**, qui est représentative des quantités de terres érodées par unité de temps et de surface : il s'agit donc d'un débit solide "Q" qui s'exprime en grammes par secondes et par hectares (g/s/ha) qui est donné par :

$$Q(t) = C(t) \times R(t)$$

Le type de prélèvement décrit précédemment assure une bonne simultanéité de "C" et de "R". Le planimétrage de l'aire décrite par cette courbe permet de déduire la masse de terres érodées "E" exprimée en kilogrammes par hectare (kg/ha).

## VIII.2 Typologie des turbidigrammes

Le dépouillement des essais effectués entre les années 1975 et 1980 permet de caractériser un nombre heureusement restreint de réactions de parcelles donc de "types" de turbidigramme. Cette **typologie des turbidigrammes** résulte de l'examen des différentes formes prises par les portions successives des courbes les décrivant : 6 types regroupent 80 % des graphiques (fig. IV.3), les reliquats, s'éloignant pour diverses raisons de ces catégories, seront dits "atypiques" et recevront le numéro 0.

### VIII.2.1. Le turbidigramme de l'érosion en nappe.

La figure IV.2. (ou le type 1 de la figure IV.3) représente 40 % des turbidigrammes, ceux qui permettent de diagnostiquer une érosion en nappe.

On constate que la turbidité s'accroît très rapidement dès l'apparition du ruissellement et que son maximum, ou "pic Cs", est atteint pendant la phase transitoire, bien avant le palier du ruissellement. Elle décroît ensuite très vite, jusqu'à atteindre un palier horizontal Cx qui s'établit plus ou moins rapidement pendant la phase de régime permanent du ruissellement.

La partie de la courbe  $C = f(t)$  correspondant à la phase de vidange est souvent plus difficile à tracer car elle s'appuie sur un nombre de prélèvements réduit (2 à 4 généralement pour éviter de perturber l'enregistrement des ultimes écoulements dont les intensités décroissent rapidement). On constate qu'elle suit une loi de décroissance analogue à celle de la diminution de la détention superficielle récupérable pour le ruissellement Dr. On remarquera enfin que, au temps  $t_f$ , il semble justifié d'attribuer encore une certaine turbidité aux ultimes écoulements.

Les hypothèses visant à expliquer l'évolution de l'érosion se sont précisées et étayées au fur et à mesure que se sont multipliés les travaux utilisant la même technique (COLLINET, LAFFORGUE, 1975 ; VALENTIN, 1978 ; COLLINET, LAFFORGUE, 1979 ; COLLINET, VALENTIN, 1979 ; VALENTIN, 1985) :

(1) pendant la phase d'imbibition, donc de  $t_0$  à  $t_i$ , se combinent deux phénomènes :

- une mobilisation des particules meubles déliées, posées sur la surface et de différentes origines  $\Rightarrow$  stock de sédiments délaissés lors de la phase de vidange du ruissellement précédent par perte de compétence du débit, dépôts éoliens, matériaux remaniés et rejetés par l'activité de la faune du sol, matériaux détachés du substrat par des processus physiques (copeaux de dessiccation par exemple, etc.)  $\Rightarrow$  c'est la composante Cst,
- une désagrégation plus ou moins accentuée de la surface du sol par dissipation de l'énergie cinétique des chutes de pluie  $\Rightarrow$  rejaillissement ou "effet splash" étudié depuis de nombreuses années à l'aide d'autres dispositifs (HUDSON, 1963 ; DALE RAWLISON et al., 1971 ; DE PLOEY, MOEYERSON, 1976 ; CHUKWUMA, SCHWAB, EDWARDS, 1979 ; DE VLEESCHAUER, LAL, DE BOODT, 1978 ; POESEN, SAVAT, 1980, 1981 ; POESEN, 1985 ; VALENTIN, 1985). La détachabilité se rattachant à cet effet atteint son maximum d'intensité sur des agrégats humidifiés, mais non submergés, conditions précisément réalisées entre  $t_0$  et  $t_p$  (fig. IV.1.). A partir de cet instant  $t_p$ , l'extension des flaques amène une



augmentation de l'interception de l'énergie des gouttes jusqu'à l'instant  $t_i$ . On dénommera  $C_{sp}$  cette composante de la turbidité due au splash. De  $t_0$  à  $t_i$  se constitue ainsi une charge mobilisable :

$$C(t_0, t_i) = C_{st} + C_{sp}$$

(2) pendant la phase du régime transitoire, soit de  $t_i$  à  $t_m$ , l'augmentation brutale de  $C = f(t)$  jusqu'au pic  $C_s$  au temps  $t_{Cs}$  est due à la décharge  $C = C_{st} + C_{sp}$  à laquelle s'ajoute l'abrasion de la surface du sol par la lame d'eau, chargée et en mouvement, qui reçoit le terme général d'érosion en nappe et qui fournit une nouvelle composante de turbidité  $C_n$ . Le débit solide s'écrit alors :

$$Q(t_{Cs}, t_i) = Q_{st} + Q_{sp} + Q_n$$

Le débit solide  $Q_{st}$  s'épuise rapidement tandis qu'augmente l'intensité du ruissellement. Le débit solide  $Q_{sp}$  provenant de l'"effet splash" ne peut être alimenté que par les superficies exondées, dont la proportion est en relation avec la hauteur de la lame d'eau détenue superficiellement  $D_m$  : donc  $Q_{sp}$  diminuerait tandis que  $D_m$  augmente et, en limite, on peut concevoir que  $Q_{sp}$  s'annule au temps  $t_i$  correspondant à celui d'une submersion totale sur parcelle plane. Si la parcelle présente des micro-ondulations,  $Q_{sp}$  diminue entre  $t_{Cs}$  et  $t_m$ , tandis que la composante  $Q_n$  continue à croître avec l'intensité du ruissellement jusqu'à une valeur :

$$Q_n = C_n \times R_x$$

...qui devient caractéristique de la phase suivante.

(3) à partir de l'instant  $t_m$  s'instaure un régime permanent du ruissellement caractérisé par une intensité maximale et constante  $R_x$ . De  $t_m$  à  $t_u$ , on observe un palier de turbidité  $C_x$  auquel correspond le débit solide  $Q_x$ .

On attribue le plus souvent ce débit solide à l'exclusive manifestation de l'érosion en nappe dont la composante deviendrait alors  $C_n$

D'où :

$$Q_x = C_x \times R_x$$

L'origine de cette composante  $C_x$  est cependant controversée. Son caractère constant dans un courant de régime permanent suggère une charge régulée par la compétence du flux. Si cette hypothèse est envisageable au niveau d'exutoires contrôlant de vastes superficies, elle s'admet plus difficilement sur les surfaces restreintes des parcelles expérimentales où l'on devrait assister à un épuisement rapide de la charge, par tarissement des apports provenant de la phase de ruissellement précédente.

La phase de régime permanent est donc elle-même génératrice d'érosion. Confirmation peut être donnée en s'appuyant sur une observation de VALENTIN (1985) qui concerne une relation entre la nature des dépôts des microhorizons superficiels et différentes modalités du ruissellement. Selon VALENTIN, les variations d'épaisseur de la lame d'eau ruisselante déterminent deux types de flux, le plus superficiel étant turbulent car il subit l'impact des pluies. Ce flux turbulent possède une énergie capable de poursuivre la désagrégation de matériaux submergés sous une mince pellicule d'eau. Même sur

50 m<sup>2</sup> de parcelle, ces manifestations peuvent être observées : il existe déjà d'assez nombreuses irrégularités susceptibles de faire varier l'épaisseur de la lame d'eau donc de générer en de multiples endroits ces flux turbulents. La dilution de la charge dans l'ensemble du flux d'intensité constante fournirait ainsi le palier Cx assimilable à Cn, si l'on considère que le phénomène évoqué peut constituer la composante, ou une des composantes, de l'érosion en nappe. Il sera donc intéressant, par la suite, de considérer la forme des relations pouvant s'établir entre la turbidité, l'épaisseur de la lame Dm, et les autres paramètres liés à la vitesse du courant pendant le régime constant.

(4) Pendant la phase de vidange, soit entre les instants  $t_f$  et  $t_u$ , on en reste à l'hypothèse admise précédemment, d'une loi de décroissance des turbidités calquée sur celle de la diminution des débits. Ceci est confirmé expérimentalement si l'on accepte le risque d'observations déduites d'un faible effectif d'échantillons. On doit enfin souligner que c'est à partir de l'instant  $t_u$  que va se constituer le stock de sédiments Cst se déposant sur la surface de la parcelle sans atteindre le canal de ruissellement.

Après ce type de turbidigramme qui est le plus fréquent, les autres cas nécessitent le développement d'autres hypothèses.

#### VIII.2.2. Le turbidigramme de l'érosion concentrée

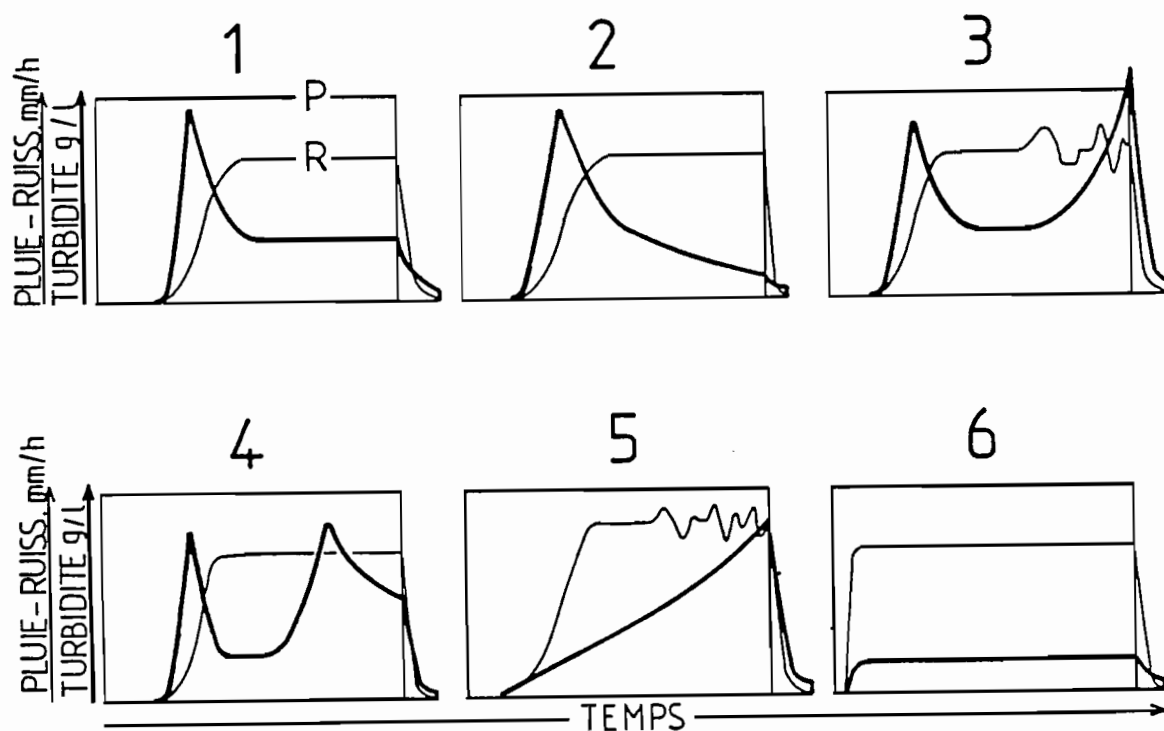


Fig. IV.3.: Typologie des turbidigrammes.

Le turbidigramme n° 3 de la figure IV.3. ne représente plus que 15 % des cas. On y retrouve, au départ, les mêmes caractéristiques de tracé que précédemment. On s'en écarte ensuite par une augmentation importante et

soudaine de la charge à partir de l'instant  $t_c$ , donc pendant la phase du régime permanent du ruissellement.

A partir de cet instant  $t_c$ , l'augmentation du débit solide n'est dû qu'à un accroissement brutal de la détachabilité puisque l'intensité du ruissellement reste constante. Il faut alors admettre, ce qui est conforme avec les observations de terrain, que la parcelle subit une **autre forme d'érosion** que l'érosion en nappe. Plusieurs phénomènes peuvent alors se produire séparément ou simultanément.

- Ceux que l'on peut **directement observer** sur la parcelle :

- arrachage des pellicules superficielles, constituées lors des averses précédentes, sous des contraintes pluviales moins intenses,

- érosion microravinante partant du canal de ruissellement, qui se comporte comme un niveau de base local, ou encore, plus rarement, partant de la parcelle elle-même, lorsque le profil en long n'est pas rigoureusement rectiligne. Cette situation est évidemment évitée au maximum lors de l'implantation du couple de parcelles à l'intérieur de la surface nivelée (cf. troisième partie), mais cette implantation est souvent un compromis imposé par d'autres caractéristiques du terrain (végétation, état de surface, affleurements rocheux, etc.).

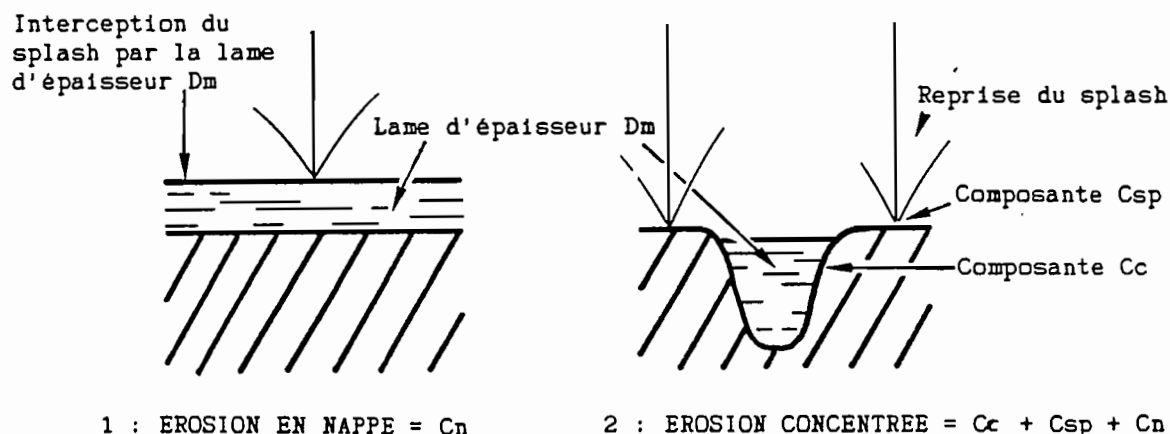
- Ceux qui ne sont **pas directement perceptibles** et dont la compréhension justifie d'autres hypothèses de travail.

L'abrasion continue d'une parcelle plane, avec transmission totale des produits érodés dans le système collecteur, élimine progressivement des microhorizons de détachabilités différentes. Les observations de la surface du sol confirment qu'il s'agit de strates de matériaux verticalement hétérogènes. Cette hétérogénéité verticale résulte des effets de phénomènes naturels ou reconstitués artificiellement et leur stabilité ne vaut que dans une étroite fourchette de contraintes données dont les moindres variations produisent l'élimination de strates métastables révélant un matériau sous-jacent de stabilité différente. On vérifie expérimentalement le déroulement de ce processus lorsque les microvariations accidentelles d'intensités de pluies pré-réglées entraînent une variation concomitante de la turbidité.

Dans la séquence des essais, ce type de turbidigramme est plus rare, mais il traduit souvent des augmentations d'érosions très sensibles au niveau du bilan. En effet, si l'averse est assez longue pour permettre son apparition, cette "érosion concentrée" ( $C_c$ ) dépasse très rapidement le pic de turbidité  $C_s$  ; sa valeur maximale semble très variable et ne peut être appréciée que par la pente de la courbe  $C = f(t)$  correspondant à cette reprise de la détachabilité.

Cette augmentation, retardée, des charges et des débits solides a été observée un peu partout depuis les premiers essais de 1975 ; ce phénomène est cependant plus fréquent dans le domaine ferrallitique. VALENTIN (1977) qui l'a observé dans le sud de la Côte d'Ivoire le rattache à un **microravinement**, conséquence d'un ruissellement en rigoles. Du fait de cette ablation soudaine de terre dans les griffes et chenaux, la répartition de la détention superficielle  $D_m$  devient hétérogène, certaines zones peuvent aussi de nouveau s'exonder ce

qui provoque une reprise du splash, d'où une réapparition de la composante  $C_{sp}$  s'ajoutant à la composante  $C_c$  (cf. figure IV.4.).



**Fig. IV.4.:** Identification de quelques composantes de la turbidité traduisant une érosion en nappe et une érosion concentrée.

C'est ainsi qu'entre les instants  $t_c$  et  $t_u$ , on observe les débits solides suivants :

$$Q(t_u - t_c) = Q_n + Q_{sp} + Q_c$$

Dans le cas d'une **remobilisation des pellicules de battance** (phénomène visible) ou d'une **reprise de l'abrasion** (non visible) sur des **microstrates hétérogènes**, il convient plutôt de prendre en compte :

$$Q(t_u - t_c) = Q_n + Q_c$$

car la lame  $D_m$  garde à peu près la même épaisseur ; en effet, ces seconds processus ne canalisent pas le ruissellement.

Il sera intéressant de vérifier, ultérieurement l'existence de relations entre l'apparition de ravines et l'évolution des intensités minimales d'infiltration des averses suivantes. En effet, si WISCHMEIER et SMITH (1978) concluent sur une augmentation de ruissellement proportionnelle à l'inclinaison d'une **pente non ravinée**, il apparaît que les travaux de ROOSE (1973, 1977, 1981) réalisés sur des parcelles recevant des pluies naturelles, et de LAFFORGUE, NAAH et al. (1976) sur des parcelles de simulation de pluies, apportent une contradiction en décrivant des diminutions de ruissellement liées à des augmentations d'inclinaison de **versants ravinés**. POESEN (1985), dans une note proposant un indice de "colmatage" des porosités superficielles, confirme ces dernières observations : la réapparition d'une plus forte infiltrabilité lors d'une accentuation de l'érosion sur des pentes d'inclinaisons croissantes est due soit à la formation de ravines dégageant de nouveaux sites poreux sur leurs parois (ROOSE, LAFFORGUE, NAAH et al.), soit à la disparition d'organisations pelliculaires colmatantes lors de l'augmentation de la pente topographique.

*VIII.2.3. Les turbidigrammes dérivés des deux types précédents (types 2, 4, 5, 6).*

Les autres représentations de la figure IV.3. regroupent environ 40 % des cas restant. Comme pour les cas précédents, ils sont observés à l'issue d'averses unitaires présentant les quatre phases caractéristiques du ruissellement dont une phase plus ou moins longue de régime permanent des écoulements.

Ils peuvent se déduire de façon cohérente des deux types précédents, en supposant des différences de vitesse dans les réactions des parcelles :

- le turbidigramme de type 2 traduit un épuisement progressif des éléments détachés lors de la phase transitoire,
- le turbidigramme de type 4 présente, quant à lui, deux pics de turbidité Cs1 et Cs2 encadrant un palier Cx et aboutit à une turbidité en fin d'averse Ctu telle que :

$$Cx < Ctu < Cs2$$

...il est assez caractéristique de parcelles remodelées par les façons culturales où se produisent, pour des intensités constantes du ruissellement, des décharges successives correspondant aux vidanges en cascades de sédiments retenus préalablement dans les dépressions artificielles du sol,

- le type n° 5 est caractéristique des parcelles à forte rugosité, où l'augmentation rapide des turbidités est indépendante des intensités du ruissellement ; la détachabilité est suffisamment forte pour dissimuler les manifestations des autres composantes Csp et Cst, elle est souvent liée à une érosion concentrée permanente,

- le type n° 6 présente des turbidités généralement faibles qui décrivent, dès les premiers prélèvements, un palier non influencé par les différentes phases du ruissellement et dont la hauteur ne dépasse guère celle des paliers issus des ruissellements des averses précédentes. Ce cas de figure est surtout observé sur des parcelles planes à faible rugosité et subissant des trains d'averses à faibles temps de ressuyage. Les hauteurs des pluies d'imbibition sont alors des plus réduites, et il se constitue rapidement une lame ruissellante continue Dm.

*VIII.2.4. Combinaison des turbidigrammes dans l'espace et dans le temps.*

Si l'on résume les modalités précédentes, on s'aperçoit que les différents tracés reposent sur les manifestations suivantes :

- détachement et rejaillissement de particules sous l'effet de l'énergie des pluies s'exerçant sur des agrégats individuels ou sur des structures continues non protégées  $\Rightarrow$  splash (Csp),
- remobilisation d'éléments déposés sur le sol lors des phases de vidange de la pluie précédente par une reprise de la compétence du débit de ruissellement  $\Rightarrow$  stock (Cst),
- interception de l'énergie des pluies par une lame d'eau ruissellante d'épaisseur Dm,

- abrasion de la surface du sol par un ruissellement de débit constant  $R_x$  sous une lame d'eau continue mais d'épaisseur localement variable pouvant acquérir un flux turbulent  $\Rightarrow$  abrasion en nappe ( $C_n$  assimilable à  $C_x$ )
- possibilité d'une reprise de l'érosion soit avec l'effet du cisaillement modifiant la microtopographie, soit avec une concentration de détachabilité sans effet notable sur ce micromodelé  $\Rightarrow$  cisaillement ou concentration ( $C_c$ ).

#### a) Combinaison dans l'espace

Le tracé des turbidigrammes analysés précédemment résulte de mesures effectuées au sortir d'un dispositif collectant les eaux provenant de 10 m de longueur de versant. Il s'agit donc d'une image intégrant les effets d'un certain nombre de processus contemporains si, dans une première approximation, on néglige la vitesse de l'écoulement, mais différents tout au long du cheminement de cet écoulement. En effet, sur 10 m de parcelle, les refus d'infiltration amont se cumulent vers l'aval. La pente hydraulique ne peut donc pas coïncider avec la pente topographique, aussi la lame de détention superficielle  $D_m$  croîtra-t-elle de l'amont vers l'aval. Pour une parcelle moyennement rugueuse, les probabilités d'émersions seront donc plus importantes en amont, avec les conséquences déjà énoncées précédemment en ce qui concerne la détachabilité.

Le diagramme triaxial de la figure IV.5. représente une succession de turbidigrammes entre l'amont et l'aval en retenant les instantanés des situations numérotées A, B, C et D.

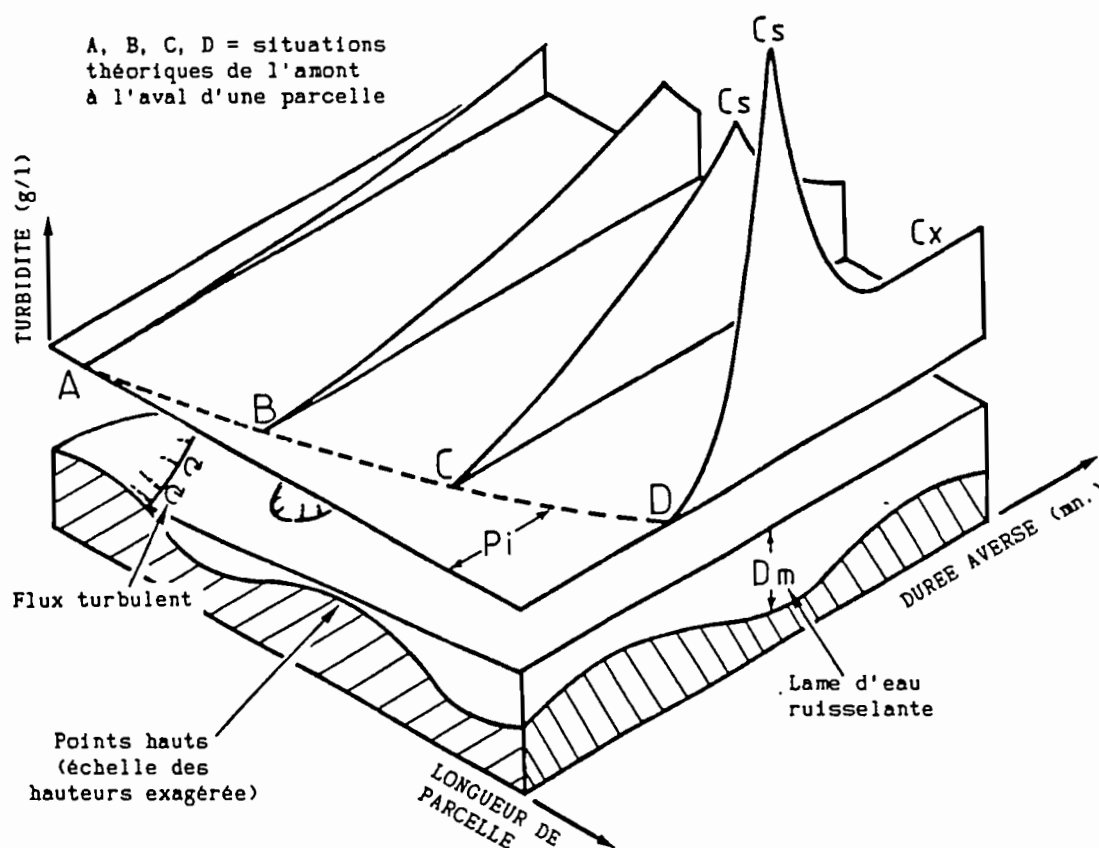


Fig. IV.5.: Combinaison de turbidigrammes dans l'espace pour une averse (diagrammes théoriques).

Dans ces espaces, en supposant que les eaux puissent être collectées simultanément à différents niveaux, on observerait :

- une hauteur de pluie d'imbibition croissant avec la superficie, ce qui a déjà été mis en évidence par l'utilisation conjointe de dispositifs de  $1 \text{ m}^2$  et de  $50 \text{ m}^2$  (CHEVALLIER, VALENTIN, 1984 ; COLLINET, 1985),
- la succession des turbidigrammes de types 5 (en A et en B)  $\rightarrow$  2 (en C)  $\rightarrow$  1 (en D), respectant les hypothèses précédentes. En effet, en amont prédominent l'effet splash et l'abrasion d'une lame turbulente tandis que vers l'aval la dilution homogénéise la turbidité jusqu'à l'obtention d'un palier  $C_x$ ,
- malgré l'éloignement des lieux de détachabilité maximum (amont), il est normal que les pics  $C_s$  augmentent progressivement vers l'aval avec l'accroissement des superficies d'apport et ce, malgré l'effet intercepteur de la lame ruisselante vis-à-vis de l'énergie des averses.

#### b) Combinaison dans le temps

Le diagramme triaxial de la figure IV.6. adopte le même principe de représentation, mais l'évolution de la turbidité se suit, cette fois-ci, selon des érosivités de pluie croissantes. Pour ne pas compliquer ce schéma, on supposera que ces pluies, additionnant leurs effets, ont des intensités identiques, de même que seront équivalentes les périodes de ressuyages ( $T_a$ ) séparant les averses consécutives.

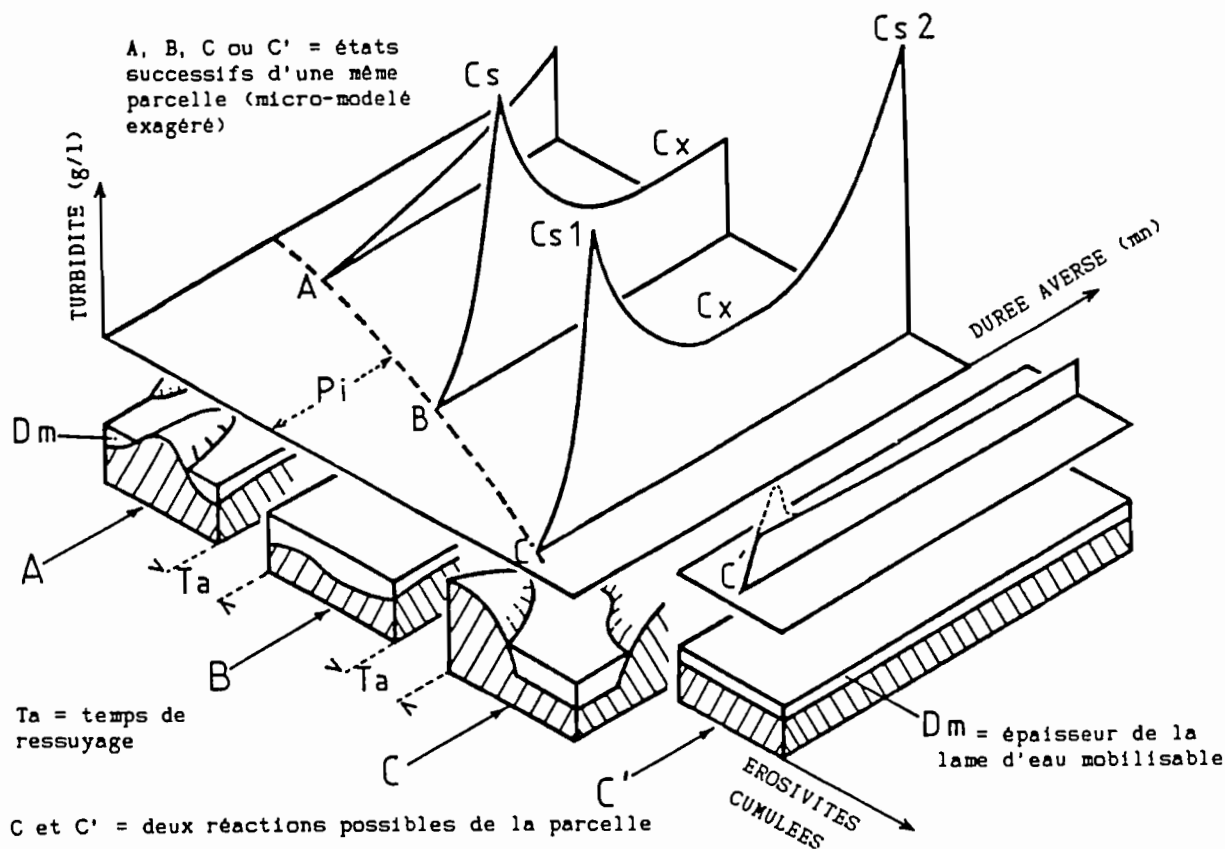


Fig. IV.6.: Combinaison de turbidigrammes dans le temps pour un train d'averses (même intensité, même temps de ressuyage, diagrammes théoriques).

Lors de l'évènement "C" deux possibilités peuvent se présenter :

- C : sur des parcelles "fragiles" on assiste à une reprise importante de l'érosion par l'apparition d'une composante Cc, le turbidigramme sera alors de type 3,

- C' : sur des parcelles "stabilisées", on admet que les matériaux de surface ont atteint un état métastable et que les apports de matériaux détachables deviennent très faibles. L'effet dilution l'emporte et il est possible d'observer un début d'épuisement des charges, raison pour laquelle le pseudo-palier Cx est mis entre parenthèses. La sensibilité du dispositif enregistreur n'est pas suffisante pour détecter ce qui se passe après l'instant  $t_i$ , et l'on retient les deux hypothèses (en pointillé) : (a)  $\Rightarrow$  il se produit un pic très bref, (b)  $\Rightarrow$  le pseudo-palier Cx s'instaure d'emblée. Quoi qu'il en soit, le turbidigramme sera de type 6.

- on remarque enfin que les hauteurs de pluies d'imbibition doivent diminuer en raison de la diminution du déficit de saturation hydrique des horizons superficiels du sol.

### ***VIII.3. Exemples d'interprétation de quelques hydrogrammes et de quelques turbidigrammes***

Les listings de résultats, portés en annexe, sont relatifs à 753 averses simulées sur 40 couples de parcelles installés dans les différents sites étudiés. Il n'est pas utile de reproduire la totalité des analyses d'hydrogrammes et de turbidigrammes enregistrant les réactions de ces parcelles, car ces analyses procèdent toutes de la même démarche. On retiendra seulement, dans les développements qui suivent, quelques exemples les plus aptes à illustrer notre démarche. Il s'agit des situations expérimentales suivantes :

- sols naturels et labourés à plat de la zone sahélienne sud : site de GALMI,

- différentes techniques culturales traditionnelles et élaborées en zone sub-sahélienne : site de POUNI,

- autres techniques culturales traditionnelles en zone guinéenne ombrophile : site de TAÏ.

#### ***VIII.3.1. Les trois sites expérimentaux de GALMI***

Les données qui sont à l'origine des analyses suivantes proviennent d'essais effectués sur trois types de sols différenciés sur la géoséquence de GALMI. On résumera succinctement quelques-unes des informations concernant les sols des couples GALMI 1, GALMI 2 et GALMI 3 dans le tableau XXXIVa.

Les comparaisons portent sur des sols en leur état naturel de fin de saison sèche et sur les mêmes sols subissant un labour de référence, opération destinée à les fragiliser au maximum. Pour simplifier cette analyse, seules ont été sélectionnées les situations expérimentales les plus voisines en s'appuyant sur des hauteurs cumulées d'averses, sur des érosivités cumulées, sur des temps de ressuyage voisins et sur des intensités d'averse identiques.



TABLEAU XXXIVa

GALMI - rappel de quelques caractéristiques du site

Sites	Situation : topo.	Pente : (%)	Roches	Epais. : (cm)	Taux arg. : (%)	Classif.
GALMI 1	plateau	0,5	Grès fer.	50-70	5 - 18*	Ferrug.
GALMI 2	mi-vers.	2,9	marnes	115	20 - 35	Isohum.
GALMI 3	mi-vers.	3,5	sabl.éol.	120	7 - 15	Isohum.

\* teneurs en argile en surface et en profondeur

Les principales données expérimentales se rapportant aux trois couples de parcelles sont regroupées dans le tableau XXXIVb suivant :

TABLEAU XXXIVb

GALMI - données relatives aux réactions hydrodynamiques et érosives des 3 parcelles

	GALMI 1		GALMI 2		GALMI 3	
	sec	ress	sec	ress	sec	ress
SEV	87	243	84	286	92	309
Ta jours	*	2,45	*	3,90	*	2,50
T mm/h	60,6	57,8	59,6	62,7	62,6	60,4
Pu mm	60,6	29,0	59,6	64,8	62,6	60,4
		(57,8)**				
Situation A : Etat naturel						
Pi (mm)	7,4	2,6	6,4	2,9	7,2	2,9
L (mm)	37,0	21,7	30,9	41,1	21,1	29,6
Fn (mm/h)	14,4	7,6	19,1	16,9	30,6	19,9
KR 1 (%)	61	75	52	63	34	49
		(78)				
Cs (g/l)	-	12,5	-	2,3	15,3	9,6
Cx p1 Ctu*** (g/l)	0,1	0,8	-	1,7***	7,6***	2,6
E (kg/ha)	71	283	953	628	2009	901

Situation B : Labour						
Pi (mm)	9,5	1,5	11,1	1,9	7,8	1,5
L (mm)	28,7	17,3	30,1	43,5	33,5	47,0
		(41,5)				
Fn (mm/h)	17,1	9,3	17,1	15,2	17,6	8,9
KR 1 (%)	47	60	50	67	53	78
		69				
Cs (g/l)	6,1	3,3	6,5	9,9	-	2,5
Cx ou Ctu (g/l)	0,5	1,0	3,9***	4,2	7,7	2,5
E (kg/ha)	686	307 (541)	1344	2164	2171	1198

#### Légende

\* : durée de la saison sèche, soit, ici, 8 mois

\*\* : valeurs extrapolées pour une durée tu de 60' (-)

\*\*\* : Ctu (fin de l'averse)

SEV : érosivités cumulées des averses (en joules/m<sup>2</sup>×mm)

#### • GALMI 1 (cf. figure IV.7.)

#### Hydrodynamique

Il convient de se rappeler qu'étant donné ses caractéristiques structurales (deuxième partie), on supposait qu'il s'agissait d'un sol disposant d'une très forte macroporosité (> 2,5 mm/cm).

Les différents hydrogrammes de la figure IV.7. contredisent nettement cette supposition. En effet, sur sol **initialement sec**, les premiers ruissellements apparaissent très rapidement et le labour n'amène qu'environ 2 mm de gain de pluie d'imbibition. Un gain plus sensible se manifeste par contre pendant la phase transitoire avec une instauration différée du régime permanent du ruissellement et les intensités Fn ne se rejoignent qu'après 55 mn d'averse. Au bilan, on observe un coefficient de ruissellement 1,3 fois plus élevé sur labour, dont l'effet sur l'amélioration de l'infiltration est donc loin d'être probant.

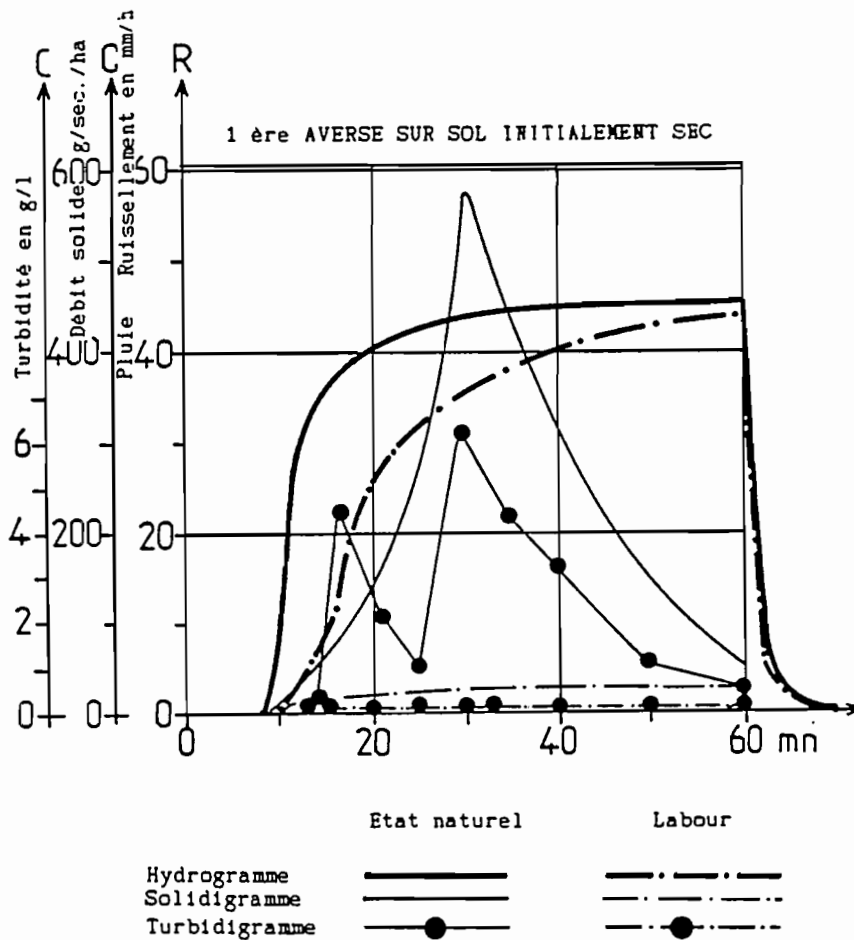


Fig. IV.7.: GALMI 1, comparaison des comportements hydrodynamiques et érosifs du sol "naturel" et du sol "labouré", à l'issue d'une averse, sur sol initialement sec.

Seuls 24 mm (naturelle) ou 32 mm (labourée) d'eau se sont infiltrés, on est donc loin, quelle que soit la situation, d'avoir saturé la macroporosité.

Sur sol **humide, ressuyé**, ces infiltrations, ramenées à une averse de 60 mn, pour faciliter la comparaison, passent respectivement à 11 mm (nat.) et 16 mm (lab.) et l'on constate que les deux hydrogrammes sont pratiquement confondus. Au bout de la quatrième averse, l'effet du labour est même totalement dissipé avec des coefficients de ruissellement tous deux très élevés (voisin de 75 %).

#### Erosion

Sur sol **initialement sec**, la parcelle labourée fournit environ 10 fois plus de terres érodées ; ceci est surtout dû à des turbidités oscillant entre 2 et 6 g/l pendant la phase transitoire du ruissellement. Il est par contre remarquable de noter les turbidités extrêmement faibles et constantes sur la parcelle naturelle.

Sur le **sol humide** (quatrième averse), les comportements des deux parcelles se rejoignent après 10 mn d'averse. Les paliers  $C_x$  approchent 1 g/l, il leur correspond des débits solides également proches puisque les intensités de ruissellement sont devenues voisines. Pour cet état d'humectation, les pertes en terre ne sont plus significativement différentes entre les deux situations et elles ne restent faibles que parce que les turbidités en palier sont faibles.

**En résumé**, compte tenu de l'importance des ruissellements, l'influence des caractéristiques porales des horizons profonds est reléguée à un second plan en regard de la limitation d'infiltrabilité exercée par les organisations de la surface. On a identifié sur la parcelle naturelle avant les essais 18 % de pellicules de battance, 40 % d'ensablements éoliens, 42 % d'épandages gravillonnaires ; sur la parcelle labourée, ces éléments disparaissent bien avant la quatrième averse et il se constitue une pellicule de battance continue. Une pondération, tenant compte des 78 % de coefficient de ruissellement, montre que ces pellicules sont à l'origine du tiers des ruissellements sur la parcelle naturelle ; l'infiltrabilité ne se trouve donc pas considérablement améliorée par les ensablements, ceux-ci sont en effet peu épais (1 à 5 cm) et recouvrent le plus souvent la pellicule précédente non détruite par les vents de sable. Les éléments grossiers interviennent, par contre, efficacement dans la limitation de l'érosion à l'issue de la **première averse**. Cette observation confirme les conclusions d'un travail antérieur (COLLINET, VALENTIN, 1984) dans lequel une telle limitation de l'érosion consécutive à des charges croissantes d'éléments grossiers avait été mise en évidence.

La stabilité des mottes de labour est suffisamment faible pour que, **lors des averses suivantes**, elles se désagrègent et fournissent le matériau de constitution d'une pellicule acquérant dès lors une forte résistance vis-à-vis de la détachabilité, identique à celle des parcelles naturelles. Cette évolution est confirmée en fin d'essais où l'on trouve des turbidités moyennes  $C_m$  et des érosions cumulées SE remarquablement identiques.

• **GALMI 2** - cf. figure IV.8.

### **Hydrodynamique**

Le sol de ce couple avait, lui aussi, été caractérisé par une forte macroporosité dépassant 2,5 mm/cm et l'absence de contraintes de drainage en profondeur.

Sur **sol initialement sec**, on note une faible différence de comportement entre les situations naturelles et labourées. En effet, les légers gains d'infiltration dus à l'allongement de la phase d'imbibition sur labour ( $P_i A = 6,4$  mm contre 11,1 mm pour  $P_i B$ ) sont limités par des intensités d'infiltration  $F_n$  plus faibles sur labour. Au bilan, les deux coefficients de ruissellement avoisinent les 50 %.

**Lors des averses suivantes** (fig.IV.8.), et jusqu'à la fin des essais, l'instauration plus rapide du palier de ruissellement fera la différence entre une parcelle naturelle plus perméable et une parcelle labourée ruisselant davantage malgré des valeurs  $R_x$  voisines.

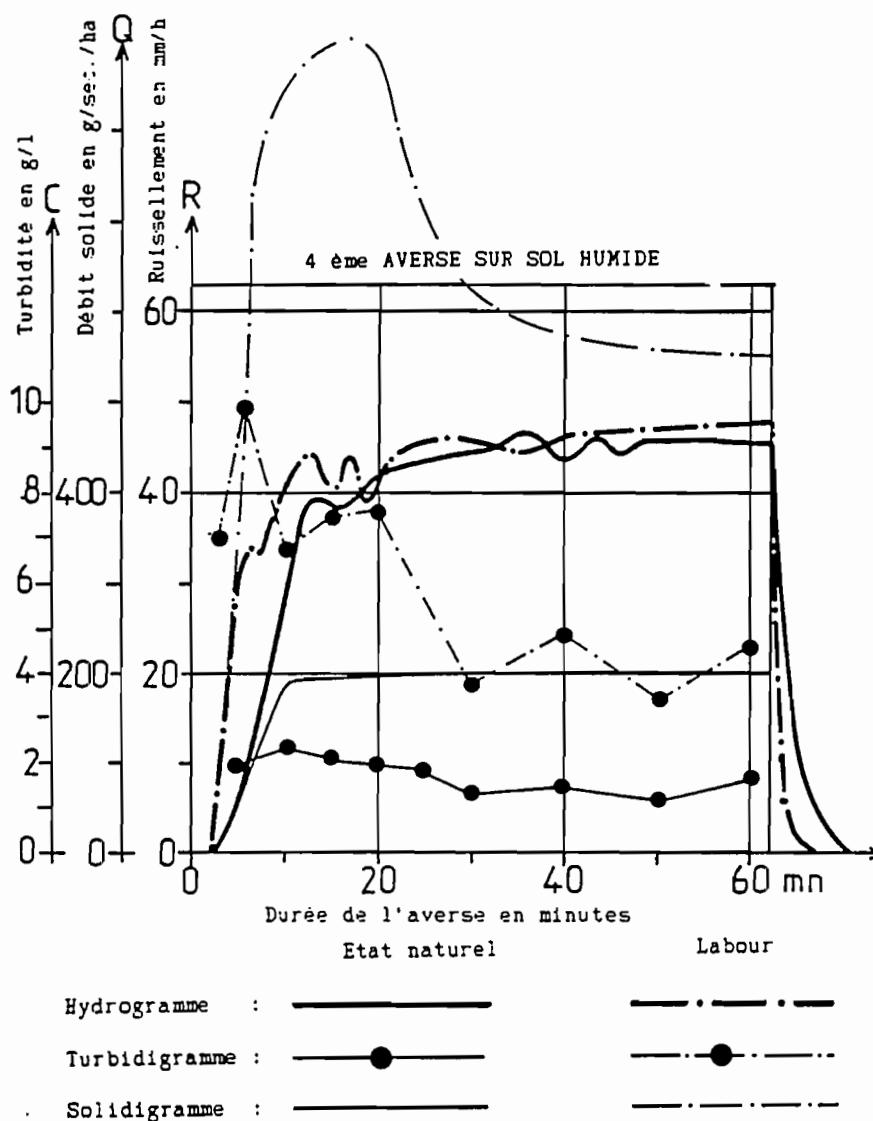


Fig. IV.8.: GALMI 2, comparaison des comportements hydrodynamiques et érosifs du sol "naturel" et du sol "labouré", à l'issue d'une averse, sur sol initialement humide.

### Erosion

Les érosions ont d'abord une valeur équivalente sur sol sec, puis elles divergent car elles s'alimentent de turbidités en palier 2,4 fois plus importantes sur labour. En fait, c'est une érosion 3,4 fois plus importante qui se manifestera car ses composantes sont différentes :

- sur la parcelle naturelle prédomine une érosion en nappe (turbidigramme 6), il se produit un ennoyage rapide de la surface plane à organisation pelliculaire suffisamment stable pour ne céder que des charges oscillant entre 1,0 et 1,5 g/l. L'absence de pic Cs est également le résultat d'une protection accrue offerte, d'une part, par environ 50 % de recouvrement de chaumes graminéens et, d'autre part, par 18 % d'éléments grossiers. Les débits solides sont ainsi maintenus à un niveau modeste, ils ne sont influencés que par les oscillations des intensités du ruissellement, effets qui seront évoqués ultérieurement,

- sur la parcelle labourée caractérisée tout au long des averses par des turbidigrammes de type 1, apparaissent régulièrement en début de chaque ruissellement des pics Cs importants (4 à 11 g/l) tandis que les paliers Cx oscillent entre 3 et 4 g/l. Moyennant des vérifications ultérieures, il apparaît une plus forte rugosité sur la parcelle labourée dont les mottes résistent plus longtemps aux contraintes. Il en résulte une importante composante Csp pendant les phases d'imbibition et de transition et l'alimentation de l'érosion en nappe est due à la turbulence du courant.

L'attention est attirée par un phénomène observable sur la figure IV.8. : de faibles oscillations naturelles ou accidentelles de l'intensité du ruissellement déterminent des variations importantes de la charge solide sans que puisse être mis en avant l'effet de la dilution. Une analyse plus systématique sera reprise ultérieurement pour clarifier ce processus que l'on peut attribuer, en première approximation, à une reprise d'érosion sur des organisations métastables.

Si l'on reprend enfin les descriptions des états de surface, on constate qu'il existe 70 % d'ensablements grossiers. De prime abord, cette répartition traduit mal l'imperméabilité de ce sol si l'on accorde une meilleure infiltrabilité aux zones ensablées. On se retrouve, en fait, replacé dans le cas de la parcelle GALMI 1, car ces sables sont peu épais (1,5 à 2,5 cm) et contiennent, d'autre part, des interstratifications pelliculaires fines vers 0,5 à 1 cm. Comme ils reposent, d'autre part, sur des horizons argileux compacts, la saturation de ces recouvrements sableux est rapidement atteinte.

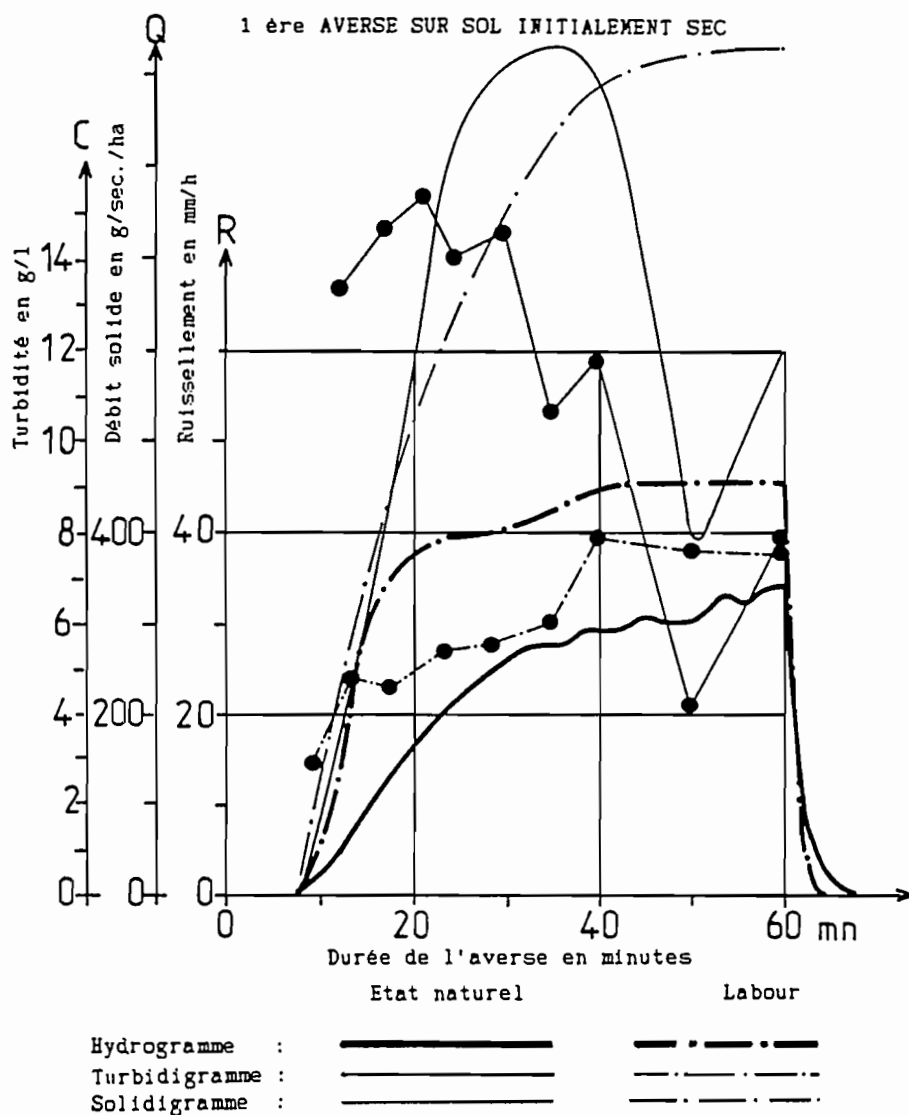
• GALMI 3 - cf. figures IV.9.

### Hydrodynamique

Comme dans les deux cas précédents, le sol caractérisant ce couple possède une forte macroporosité et présente de bonnes conditions de drainage vertical profond.

La première averse tombant sur un sol sec amène deux types de comportement très tranchés, avec des coefficients de ruissellement de 34 % pour la parcelle naturelle et de 53 % pour la parcelle labourée. Cette différence n'est pas due aux phases d'imbibition qui sont voisines ; les parcelles commencent en effet à ruisseler toutes deux après 7 mn d'averse. Par contre, l'instauration des régimes permanent de ruissellement diffère sensiblement : sur labour, après un pseudo-palier vers 20 mn, un palier définitif s'établit vers 40 mn avec une intensité  $F_n$  de 17,6 mm/h ; sur la parcelle naturelle, il faut attendre la fin de l'averse pour observer un pseudo-palier de ruissellement auquel correspond une infiltration de 30,6 mm/h.

Les différences d'infiltrabilité se maintiennent sans grandes modifications lors des averses suivantes car les hydrogrammes suivent des évolutions identiques caractérisées par un allongement de la période du régime permanent ( $t_u - t_m$ ) et une diminution des valeurs de  $F_n$  dans des proportions voisines ( $F_n A - F_n B$  voisin de 10 mm) tout au long des averses. Il en résulte un rapport  $K_r B / K_r A$  oscillant entre 1,6 lors de la première averse et 1,5 pour les averses suivantes.



**Fig. IV.9.:** GALMI 3, comparaison des comportements hydrodynamiques et érosifs du sol "naturel" et du sol "labouré", à l'issue d'une averse, sur sol initialement sec.

### Erosion

Sur sol **initialement sec**, les érosions de la première averse avoisinent les 2 t/ha sur les deux parcelles. Une analyse des turbidigrammes montre que ces érosions identiques sont obtenues par la combinaison de processus différents :

- sur la parcelle naturelle, le pic  $C_s$  est très important à cause d'une composante  $C_{st}$  très forte car elle est couverte par 94 % de sables éoliens meubles sur 5 à 10 cm,

- sur la parcelle labourée, les sables sont incorporés dans les horizons sous-jacents et la charge, moins importante, est la seule conséquence de l'effet splash ( $C_{sp}$ ) s'exerçant sur un matériau qui perd rapidement sa rugosité avec la désagrégation des mottes de labour (turbidigramme 5).

Au bout de la quatrième averse, les détachabilités des deux parcelles sont devenues identiques (turbidigramme 1) avec des charges Cx voisines de 2,5 g/l. Les ruissellements plus faibles sur la parcelle naturelle déterminent des débits solides plus faibles donc des érosions moins importantes.

Les exemples de comportements de GALMI 1, 2 et 3 révèlent une complexité qui n'est qu'apparente : elle se résout en un petit nombre de causes dont les limites de variation, parfois restreintes, ne doivent pas dissimuler l'ampleur des effets. Ces causes sont les suivantes.

- Concernant les matériaux :

- les organisations pelliculaires d'éléments fins provoquent une limitation de la conductivité hydraulique et, aussi souvent, de la détachabilité, donc de l'érosion ; elles sont cependant susceptibles d'évoluer (GALMI 1) si les contraintes ayant provoqué leur formation changent,

- les ensablements superficiels assurent une plus grande infiltrabilité, mais il faut considérer conjointement leurs épaisseurs et la nature de leurs limites inférieures, pour apprécier leurs vitesses de saturation et la cohésion de leur surface, pour évaluer leur détachabilité,

- la charge superficielle en éléments grossiers constitue un élément important de l'interception de l'énergie des pluies et contribue à atténuer la détachabilité; elle intervient également sur le maintien de porosités ouvertes en surface, à condition que ces éléments ne soient que posés sur le sol et non enchassés (GALMI 1) comme l'ont démontré les travaux de POESEN (1985),

- Concernant les modalités du ruissellement :

- celui-ci se traduit par la mise en mouvement de lames d'eau dont l'épaisseur est liée aux caractéristiques des averses, mais aussi à la configuration du sol et notamment à sa microtopographie; cette lame joue donc aussi un rôle dans l'interception de l'énergie des gouttes de pluie,

- la compétence du ruissellement est liée à sa vitesse, mais la charge en éléments transportés peut être augmentée par l'apport d'éléments détachés par sa propre action érosive qui se renforce lorsque son flux devient turbulent à proximité de zones émergées ou au contact d'obstacles immobiles,

- enfin, il a été détecté d'importantes reprises de détachabilités consécutives à de faibles variations du débit de ruissellement : pour le moment, aucune hypothèse ne peut être avancée pour rendre compte de ce processus qui sera analysé dans la cinquième partie ; il peut être à l'origine d'importantes remises en mouvement de sédiments.

En conclusion de cet examen, portant sur trois situations expérimentales, il faut retenir la convergence des comportements de sols génétiquement et morphologiquement très différents et l'absence de relation nette avec les volumes poraux des horizons de profondeur.

### VIII.3.2. Répercussions de quelques techniques culturales pratiquées sur un site expérimental de POUNI



TABLEAU XXXVa

POUNI - rappel de quelques caractéristiques du site

Site	Situat.	pente	roche	épais.	taux	class.
	topo.	(%)		(cm)	arg. (%)	
POUNI 3	bas vers.	0,9	schistes	> 180	18 - 42*	Ferug.
			pélit.			trop.

\* teneurs en argile en surface et en profondeur

A la fin d'essais réalisés sur des parcelles en leur état naturel, une averse d'environ 60 mm/h a été simulée sur deux parcelles transformées du troisième couple de la toposéquence de POUNI. Cet additif au protocole a pour but de mettre en évidence l'influence de certaines techniques culturales sur l'infiltrabilité et l'érodabilité des sols.

C Turbidité en g/l    Q Débit solide en g/sec./ha    R Pluie, Ruissellement en mm/h

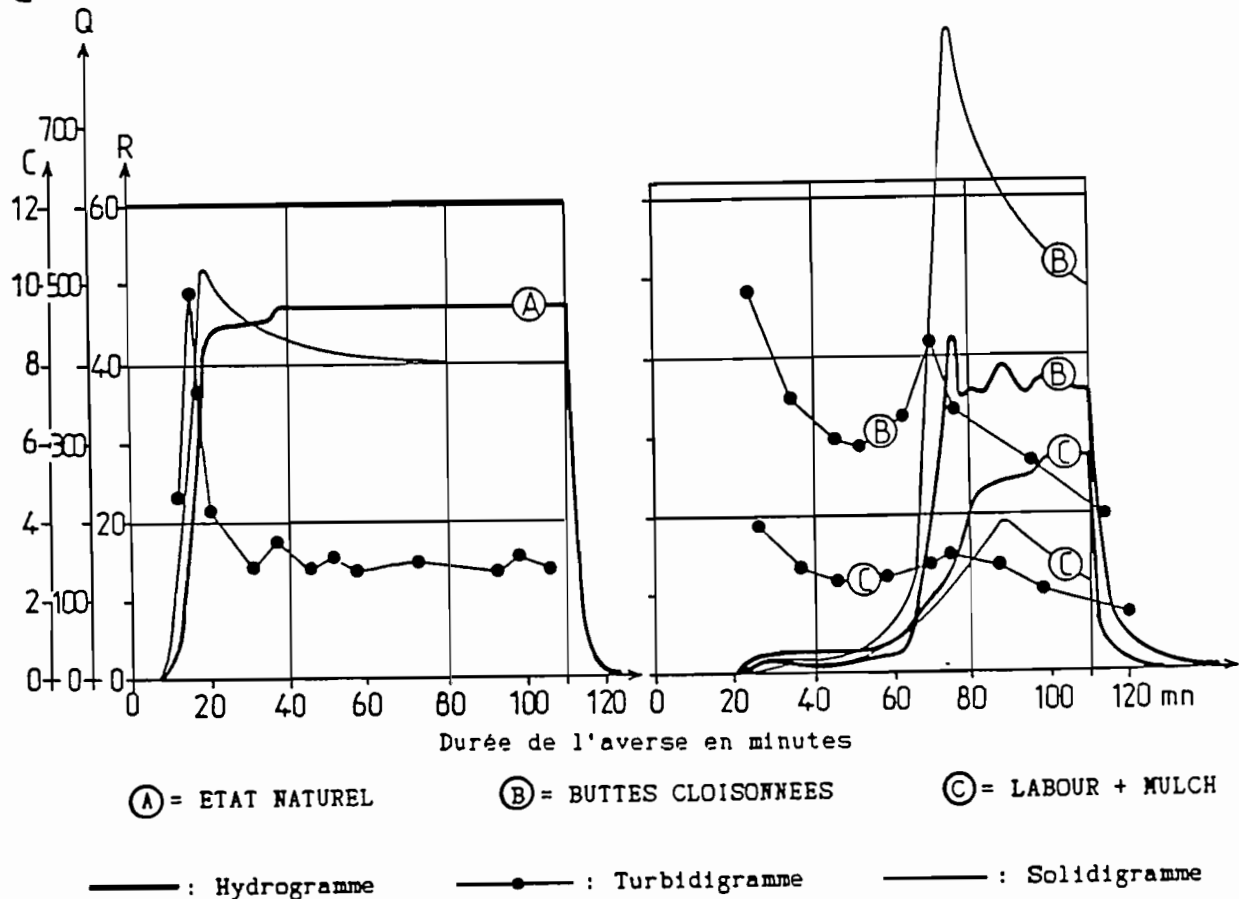


Fig. IV.10.: POUNI 3, comparaison des comportements hydrodynamiques et érosifs du sol soumis à différents traitements culturaux, à l'issue d'une averse, sur sol initialement ressuyé.

A cet effet, la première parcelle du couple POUNI 3 a été aménagée en buttes cloisonnées et la seconde parcelle a été recouverte d'un paillis protecteur en chaumes en sorgho après avoir été préalablement labourée.

Pour faciliter toutes comparaisons, on a reproduit sur la figure IV.10. les hydrogrammes, turbidigrammes et solidigrammes de l'averse n° 1 sur la parcelle en son état naturel recevant 60 mm/h pendant 60 mn. Sur ces différentes courbes, les paliers Rx, Cx et Qx ont été prolongés jusqu'à un temps  $t_u$  de 110 mn identique à celui de la durée des essais sur les deux pratiques culturales, ce que l'on a le droit de faire en tenant compte des observations effectuées à l'issue des averses précédentes.

On dispose donc de données sur trois types de parcelles qui, par commodité, sont désignées de la façon suivante :

- A : sol nu, non labouré, initialement sec,
- B : buttes cloisonnées sur sol ressuyé,
- C : labour et épendage d'un mulch de pailles sur sol ressuyé.

#### Hydrodynamique

L'apparition des premiers ruissellements est rapide pour A (7mn), et extrêmement différée pour B et C (environ 20 mn dans les deux cas). Cette différence tient au temps de remplissage des porosités artificielles créées par les deux labours. Pendant les 40 mn suivantes, soit les cuvettes ménagées entre les buttes se remplissent (B), soit les porosités restent ouvertes grâce à la protection du mulch (C). Seuls commencent à ruisseler les secteurs de parcelles situées à proximité du canal de ruissellement ( $R = 1$  à  $2$  mm/h).

TABLEAU XXXVb

POUNI 3 - Données relatives à divers traitements  
culturals avec :  $I \# 60$  mm/h,  $t_u = 110$  mn  
et  $t_a = 20$  heures

	A	B	C
	état naturel	buttes clois.	labour
Pi mm	8,4	20,1	20,5
Rx mm/h	47,0	36,5	28,0
Fn mm/h	12,8	25,4	(33,9)
V mm	((29,0))	84,4	94,4
Kr 1 %	((73,0))	25,5	16,7
Cs g/l	9,3	9,4 et 8,2*	3,6
Ctu g/l	((3,1))	4,8	1,7
E kg/ha	((2660))	1683	415

#### Légende

- (-) palier non atteint
- ((-)) valeurs extrapolées
- \* 2 pics

Le régime permanent de ruissellement est atteint très peu de temps après l'apparition des premiers écoulements pour A, ( $t_m - t_i = 11\text{mn}$ ) alors qu'il est très progressif sur le labour (C) où l'on peut voir qu'en fin d'averse, le palier Rx n'est probablement pas encore atteint. Sur l'hydrogramme B, on constate une montée brutale du débit vers 60 mn et jusqu'à 75 mn qui correspond à une rupture en chaîne des cloisons séparant les buttes et aux débordements en cascade des cuvettes.

Les coefficients globaux de ruissellement sont respectivement de 25,5 % et 16,7 % pour les hydrogrammes de B et C (tableau XXXVb) ce qui correspond à des lames infiltrées de 84,4 et 94,4 mm. Pour l'hydrogramme A, le coefficient de ruissellement à  $t_u$  60 mn est de 61,3 % et la lame infiltrée n'est alors que de 23,3 mm ; on peut raisonnablement porter le coefficient de ruissellement à 73 % pour une extrapolation à  $t_u = 110$  mn puisque le régime permanent était déjà atteint à 60 mn. Il convient en outre de préciser que pour une averse de ce type, se produisant dans des conditions de plus forte humectation identiques à celles de situations B et C, la lame infiltrée serait encore bien inférieure. C'est donc une réserve hydrique supplémentaire d'environ 760 mm en moyenne que ce sol a pu emmagasiner au cours de cet essai grâce aux techniques culturales pratiquées.

L'influence des techniques culturales sur les coefficients de ruissellement et d'infiltration met en relief la grande importance de la phase d'imbibition pendant laquelle l'infiltration est maximale (si l'on excepte les 1 à 2 mm de ruissellement parasite). Il convient aussi de remarquer que, lorsque s'instaure la phase du régime permanent, les intensités minimales d'infiltration  $F_n$  observées sont de 2 à 2,6 fois plus importantes sur les parcelles aménagées.

Si l'effet bénéfique de ces deux aménagements culturaux sur l'infiltration apparaît nettement, voyons ce qu'il en est concernant l'érosion.

### **Erosion**

Les nouveaux labours subis par les parcelles mélangent intimement les sédiments meubles délaissés par l'averse précédente mais recréent en surface une importante rugosité correspondant aux mottes de labour. La composante Cst de la turbidité disparaît au profit exclusif de la composante Csp, au moins en début d'averse.

Les ruissellements parasites des 20 à 60 mn entraînant les matériaux désagrégés par le splash, fournissent de bons renseignements sur les hauteurs atteintes par Cs1 que l'on peut identifier à Csp. Sur la parcelle buttée B, Cs1 atteint 9,4 g/l, par contre, l'effet protecteur du mulch apparaît nettement sur la parcelle C où le pic de turbidité est réduit de plus de la moitié (3,6 g/l). Evidemment les débits solides correspondants sont très faibles étant donné les très faibles intensités des ruissellements.

Lorsque, pour les raisons évoquées précédemment, s'instaure un ruissellement généralisé, on récupère les eaux de toute la superficie de la parcelle et l'on constate que leur turbidité Cs2 est comparable, quoique légèrement inférieure au pic Cs1 d'environ 1 g/l (turbidigramme de type 4). Cette sensible diminution de Cs1 à Cs2 peut s'interpréter d'abord par une

sédimentation partielle de terres érodées dans les cuvettes de la parcelle B puis ensuite par un colmatage des porosités sur les deux parcelles B et C. Cette diminution de la porosité superficielle est plus rapide sur la parcelle B, où un palier Rx s'instaure avant la fin de la pluie, que sur la parcelle C où les intensités de ruissellement ne croissent nettement que vers la fin de l'averse.

Au bilan, le labour paillé C est nettement plus protecteur et ceci apparaît en comparant les érosions globales en fin d'averse sur les traitements B et C.

Il est, par contre, difficile de juger de la validité du buttage B en ce qui concerne une limitation durable de l'érosion. Malgré une période tu relativement longue à l'issue de laquelle se dessine une diminution du débit solide, on ne sait pas si le palier Rx amorcé est encore susceptible de modifications au fur et à mesure que s'effondre les buttes de labour. Tout dépendra de la conjonction "turbidité-intensité du ruissellement". Signalons qu'à l'instant tu les turbidités sont encore très fortes ( $C_{tu} = 5,3 \text{ g/l}$ ) et qu'il en résulte un débit solide non négligeable ( $Q_{tu}$  voisin de  $500 \text{ g/s/ha}$ ).

### VIII.3.3. Différentes situations expérimentales sur TAï.

Les principales caractéristiques du site et des sols des deux couples de parcelles expérimentales de TAï sont résumées sur le tableau XXXVIa.

TABLEAU XXXVIa

TAï : Rappel de quelques caractéristiques du site

Sites :	situat. :	pente :	roche :	épais. :	taux arg. :	class. :
:	topo. :	(%) :	:	(cm) :	(%) :	:
TAï 1 :	1/4 sup. :	19,8 :	migmatite :	180 :	33 - 52 :	Ferrallit. :
TAï 3 :	bas vers. :	7,5 :	migmatite :	160 :	22 - 41 :	Ferrallit. :

Les analyses portent sur les sols de sommet (TAï 1) et de bas de versant (TAï 3) placés dans différentes situations expérimentales. On considérera ainsi successivement :

- en premier, les effets de la différenciation toposéquentielle de ces deux sols défrichés  $\Rightarrow$  sol gravillonnaire de sommet A,  $\Rightarrow$  sol meuble de l'aval B,

- ensuite les effets d' une modification du couvert végétal :  $\Rightarrow$  sol défriché traditionnellement C,  $\Rightarrow$  couvert de riz pluvial sur défriche en saison des pluies, D.

- enfin, les effets de trois techniques culturales :  $\Rightarrow$  défriche traditionnelle sans extirpation des racines E,  $\Rightarrow$  buttage simple avec extirpation des racines F,  $\Rightarrow$  labour à plat avec extirpation des racines G.

## a) Effets des différenciations pédologiques → A et B

Le tableau XXXVIb et les graphiques de la figure IV.11. permettent de comparer les comportements des sols du sommet (A) et du bas de versant (B), tous deux dans leur état initial de fin de saison sèche (faible humidité) et à l'issue de quelques averses (fortes humidités), alors qu'ils ont été défrichés avec brûlis pour préparer les semis de riz pluvial. Pour faciliter cette comparaison, on ne retiendra que des comportements résultant d'averses à 60 mm/h sur des sols soumis à des érosivités cumulées voisines (SEV).

TABLEAU XXXVIb

TAï - Données relatives aux réactions hydrodynamiques et érosives du sol de l'amont (TAï 1 = A) et du sol de l'aval (TAï 3 = B)

*	Sols peu humides		Sols très humides	
	A	B	A	B
SEV	154	135	1018	780
Ta (jours)	8,1**	7,4*	0,1	0,1
I (mm/h)	57,2	61,8	60,4	59,9
Pu (mm)	107,3	92,7	30,2	30,4
Pi (mm)	3,8	2,7	4,3	1,5
L (mm)	3,7***	9,3	5,7	10,9
Fn (mm)	52,5***	(51,4)	(37,9)	31,4
KR1 (%)	4,3***	10,0	18,9	35,8
Cs (g/l)	0,6	1,2	0,2	1,9
Cx (g/l)	(0,1)	0,2	(0,1)	(0,3)
E (kg/ha)	4***	25	3	34

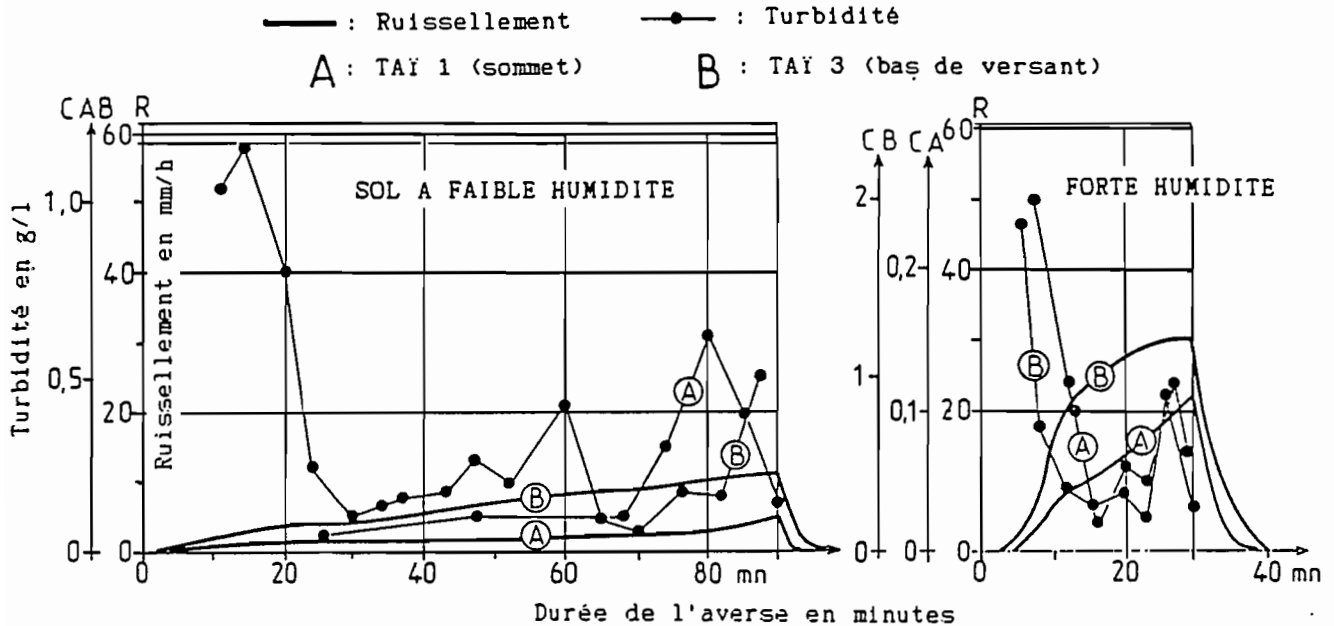
## Légende

- \* : signification des symboles → cf. chapitre VIII  
 \*\* : pluie antérieure de 11,0 mm,  
 \*\*\* : valeurs intrapolées pour une durée "tu" ramenée à 90 mn au lieu de 120 mn afin de faciliter les comparaisons  
 (--) : palier non atteint

## Hydrodynamique

Quelles que soient les conditions d'humectation antérieures, les infiltrations restent plus importantes sur les sols gravillonnaires et argileux proches du sommet (A), les coefficients de ruissellement sont 3,5 fois plus importants en bas de versant (B).

On remarque cependant que ces deux sols sont nettement plus perméables que ceux des zones sahéliennes et soudaniennes étudiés dans les paragraphes précédents.



**Fig. IV.11.:** TAÏ 1 et 3, comparaison des comportements hydrodynamiques et érosifs des sols défrichés de l'amont (TAÏ 1) et de l'aval (TAÏ 3)", à l'issue d'une averse, sur sols initialement ressuyés et très humides.

Les différences d'infiltration entre l'amont A et l'aval B sont la conséquence :

- de différences de hauteurs de pluies d'imbibition avec  $\Delta P_i/P_i$  max. voisines de 30 % sur sols peu humides et 65 % sur sols humides,

- de différences d'intensités d'infiltration en fin d'averse ; on remarque cependant que les paliers  $F_n$  sont atteints en B alors que cette intensité continue à décroître en A.

### Erosion

L'évolution de la charge solide présente les caractéristiques suivantes :

- sur sol peu humide (averse 2) on note une mobilisation plus importante et plus rapide en B (1,2 g/l à 12 mn) qu'en A où il faut attendre 30 mn pour observer un pic de 0,6 g/l ; bien que peu "typé", le turbidigramme de B montre à deux occasions (60 à 85 mn) des reprises d'érosion traduisant une instabilité des horizons superficiels, la durée de l'averse est, par contre, insuffisante pour juger de l'évolution ultérieure de ces charges en A,

- sur sol humide (averses 10 et 12), les deux comportements tendent à se rapprocher avec un "lâchage" se repérant par l'apparition des pics secondaires vers 25 mn, mais les turbidités moyennes ( $CM_1$ ) restent 2,5 fois plus importantes sur B.

Au bilan, la conjonction de plus forts ruissellements et de plus fortes turbidités fournit des érosions 6 à 11 fois plus importantes en bas de versant. Ces érosions restent cependant à un niveau modeste parce que, dans les deux cas, une interception de l'énergie des pluies est assurée par une abondante accumulation de débris végétaux sur la surface du sol tandis que la capacité érosive du courant de ruissellement est atténuée par la présence du lacis racinaire superficiel de l'ancienne forêt. La présence d'un épandage de gravillons ferrugineux en amont ajoute son effet et contribue à faire la différence entre ces deux parcelles.

#### b) Effets du couvert végétal

Ils sont analysés sur la parcelle de bas de versant (TAÏ 3) qui est la plus érodable si l'on se réfère à l'analyse précédente. La comparaison porte cette fois, sur des sols défrichés (C) et sur des sols supportant un champ de riz pluvial dense à maturité (D). Toutes les données sont portées sur le tableau XXXVII. Les hydrogrammes et turbidigrammes correspondants sont tracés sur la figure IV.12.

TABLEAU XXXVII

TAÏ - Effet du couvert végétal - Données relatives  
aux réactions hydrodynamiques et érosives du sol TAÏ 3  
défriché (C) et couvert de riz pluvial (D)

*	Sols peu humides		Sols très humides	
	C	D	C	D
SEv	135	187	780	779
Ta (jours)	7,4**	16,7	0,1	0,2
I (mm/h)	61,8	66,1	59,9	63,7
Pu (mm)	92,7	99,1***	30,4	31,8***
Pi (mm)	2,7	11,3	1,5	2,4
L (mm)	9,3	13,7***	10,9	11,4***
Fn (mm/h)	51,4	50,0	31,4	33,7***
KR1 (%)	10,0	13,8***	35,8	35,8***
Cs (g/l)	1,2	0,5	1,9	0,5
Cx (g/l)	0,2	0,2	0,3	0,1
E (kg/ha)	25	31 ***	34	10 ***

#### Légende

\* : signification des symboles - cf. chapitre VIII,

\*\* : pluie antérieure de 11,0 mm,

\*\*\* : valeurs intrapolées pour une durée d'averse "tu" ramenée à 90 mn au lieu de 120 mn afin de faciliter les comparaisons.

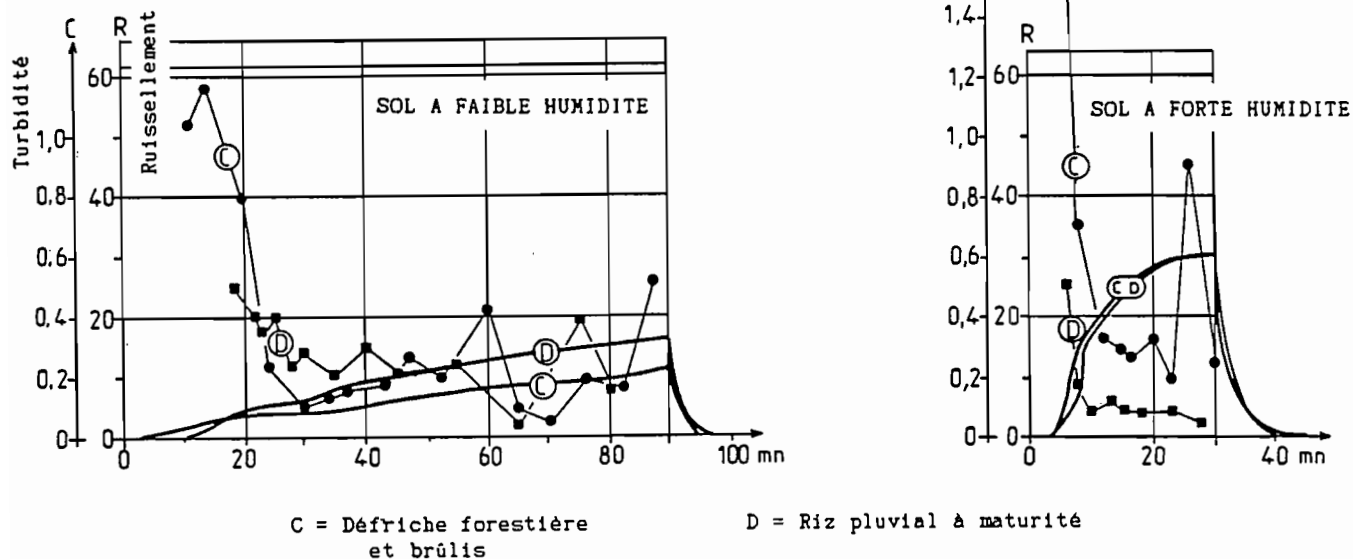
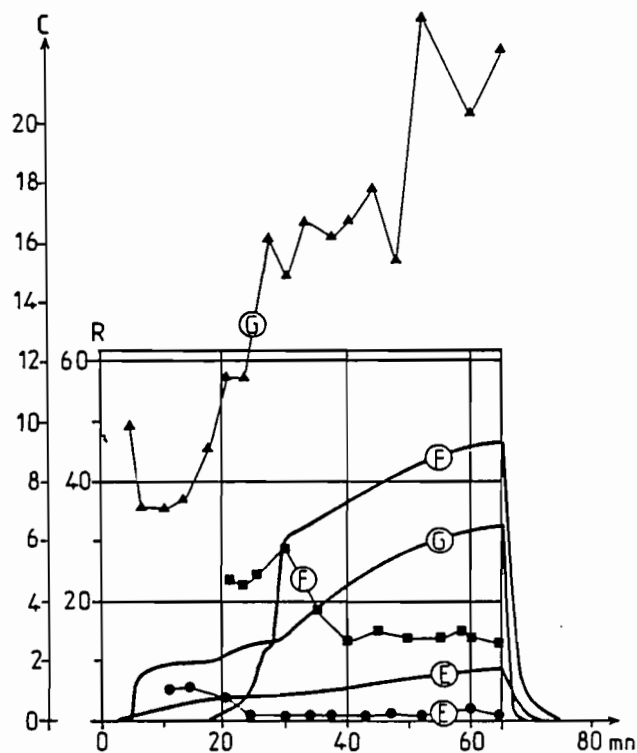


Fig. IV.12.: TAÏ 3, comparaison des comportements hydrodynamiques et érosifs des sols défrichés et couverts de riz pluvial, en aval (TAÏ 3), à l'issue d'une averse, sur sol initialement ressuyé, et très humide.



E = Défriche autochtone (Oubi); F = Buttage simple (Baoulé); G = Labour (référence)

Fig. IV.13.: TAÏ 3, comparaison des comportements hydrodynamiques et érosifs des sols soumis à trois techniques culturales, en aval (TAÏ 3), à l'issue d'une averse, sur sol initialement ressuyé.



## Hydrodynamique

La différence de couvert végétal **modifie très peu** les comportements hydrodynamiques, en effet :

- **sur sol peu humide** (premières averses), les coefficients de ruissellement sont voisins, mais on note des débuts de ruissellement plus précoces sur C tandis que les intensités  $F_n$  sont quasiment identiques (proches de 50 mm/h) sur C et sur D. Ceci démontre un contrôle identique de l'infiltration par le premier réservoir poral du sol identifié entre la surface et 17,5 cm (cf. composition volumique de ce sol dans la deuxième partie), soit au-dessus de l'horizon compacté "A 12". Il en résulte des coefficients de ruissellements faibles mais légèrement plus importants sur D (13,7 %),

- **sur sol très humide**, dont les protocoles expérimentaux voisins provoquent des érosivités cumulées voisines de 780 joules /  $m^2 \times mm$ , les comportements deviennent rigoureusement identiques, les hydrogrammes sont pratiquement superposables et il en résulte un coefficient de ruissellement de 35,8 % sur C et sur D.

## Erosion

Par contre, ici, des **différences sensibles** se manifestent entre les deux types de couvert, elles sont surtout détectables au niveau de l'évolution des charges solides :

- **sur sol peu humide**, la mobilisation des éléments est plus importante dans la situation C ( $C_s = 1,2 \text{ g/l}$ ) car l'énergie des pluies n'est interceptée au niveau du sol que par les débris le recouvrant de façon hétérogène. Pour la situation D, par contre, un autre niveau d'interception, constitué par le couvert du riz pluvial intervient et le pic  $C_s$  descend à 0,5 g/l. Par la suite, les turbidités suivent des paliers identiques limités à 0,2 g/l, si l'on excepte quelques "lâchages" d'éléments dus à l'encombrement du champ par les plus gros débris (branches) entre 60 et 90 mn,

- **sur sol très humide**, on retrouve le rôle protecteur du riz pendant les phases d'imbibition car celui-ci, encore érigé en début d'averse, intercepte nettement l'énergie des pluies avec une différence de 1,4 g/l entre les pics de C et de D. Par la suite, et du fait du cumul des pluies antérieures, les tiges, qui ont tant soit peu perdu leur rigidité, versent sur le sol et lui fournissent une protection supplémentaire à la façon d'un mulch ; il en résulte dès lors des turbidités extrêmement faibles ( $< 0,1 \text{ g/l}$ ).

En résumé, au bout d'une dizaine d'averses, la conjonction d'intensités de ruissellement identiques mais de turbidités sensiblement différentes pour les raisons évoqués précédemment, fournit des débits solides plus importants sur défriche. Cependant, dans les deux cas, les érosions restent à un niveau extrêmement modeste.

Ces observations sont en accord avec celles de travaux antérieurs (ROOSE, 1977, 1981) où il apparaît que l'augmentation de **densité d'un couvert végétal** est surtout efficace dans la **limitation de l'érosion** mais intervient relativement **peu dans celle du ruissellement**.

c) Effets de trois techniques culturales  $\Rightarrow$  E, F et G

Le sud-ouest de la Côte d'Ivoire est une des dernières réserves de forêt dense ombrophile au niveau des 5° de latitude Nord. Dans cette forêt vivent depuis longtemps des populations pratiquant une culture itinérante sur défriches forestières selon des techniques traditionnelles relativement frustes mais permettant, d'une part, la survie de ces populations et, d'autre part, la reconstitution de la végétation climatique (Notes Techniques du M.A.B. n° 15, 1984). Depuis une vingtaine d'années, le développement programmé de ce Sud-Ouest a provoqué une immigration de populations allochtones, originaires de savanes pour la plupart d'entr'elles, et pratiquant des techniques culturales plus élaborées et plus productrices mais aussi plus destructrice. La rencontre de ces deux modes de subsistance pose évidemment un certain nombre de problèmes qui ont été à l'origine de programmes scientifiques multidisciplinaires où étaient opposés, à de nombreux niveaux d'étude, les concepts de contraintes imposées au milieu et de potentialités de ce milieu.

La participation d'un pédologue aux activités de recherches souhaitées par le M.A.B. dans cette région a permis de fournir quelques éléments de réponses sur sa résistance en comparant les effets des techniques autochtones et allochtones. La réponse présente évidemment le caractère abrupt de résultats expérimentaux sans que soient, par exemple, abordés les effets fastes des techniques plus élaborées notamment sur la production alimentaire.

Les comparaisons concernent encore ici le sol de bas de versant (TAï 3) et portent sur trois situations :

- E - technique culturale traditionnelle : défriche + brûlis de saison sèche + semis en poquet de riz dans des petites cavités ouvertes à la houe tous les 30 à 40 cm (ethnie Oubi autochtone).

- F - technique culturale traditionnelle : défriche + brûlis de saison sèche + débardage des débris végétaux + extirpation du système racinaire traçant + labour à la daba + buttage simple (buttes de 35 à 38 cm, équidistance dans les deux directions : 100 cm, soit 1 butte au mètre carré) + ensemencement de tubercules d'igname (ethnie Baoulé allochtone).

- G - labour à plat, de référence, sur un sol débarrassé de tous débris végétaux et plané, ce, afin de caractériser l'érodabilité maximum du sol.

Les données utiles sont résumées sur le tableau XXXVIII tandis que les hydrogrammes, turbidigrammes et solidigrammes correspondants sont représentés sur les graphiques de la figure IV.13.

Comme pour les analyses précédentes, les comparaisons portent sur des sols d'humectation initiales voisines et subissant les mêmes contraintes (1% voisin de 60 mm/h et SEV voisin de 100 joules/m<sup>2</sup> x mm).

=====

**TABLÉAU XXXVIII**  
**TAÏ - Effets techniques culturales -**  
**Données relatives aux réactions hydrodynamiques et érosives**  
**du sol TAÏ 3 défriché modérément (E), totalement et**  
**butté (F), labouré à plat (G)**

	Sol ressuyé			
	*	E	F	G
SEV	135	97	135	
Ta (jours)	7,4**	1,0	7,4**	
I (mm/h)	61,8	61,6	61,8	
Pu (mm)	66,9***	66,7	66,9***	
Pl (mm)	2,7	17,7	3,5	
L (mm)	5,3***	26,0	22,7***	
Fn (mm/h)	53,0***	15,7	29,5***	
KR 1 (%)	7,9***	39,0	33,9***	
Cs (g/l)	1,2	5,8	-	
Cx (g/l)	0,2	2,0	(20,4)	
E (kg/ha)	18***	826	4017	

#### Légende

- \* : signification des symboles - cf. chapitre VIII  
 \*\* : pluie antérieure de 11,0 mm,  
 \*\*\* : valeurs intrapolées pour une durée d'averse tu ramenée à 65 mn au lieu de 90, afin de faciliter les comparaisons,  
 (--) : Ctu et non Cx
- =====

#### Hydrodynamique

Le buttage (F) retarde d'environ 20 mn l'apparition du ruissellement et permet l'infiltration de 17,7 mm. Mais cette situation se dégrade à partir de 27 mn, instant où les flaques d'eau se rejoignent et fournissent alors un important courant de ruissellement auquel s'ajoute, jusqu'à environ 30 mn, un courant canalisé dans les lignes interbuttes.

A partir de 60 mn, les porosités ouvertes par la culture se colmatent, d'une part, en sommet de buttes et, d'autre part, à leurs pieds où se sédimentent les matériaux provenant des multiples microcolluvionnements ; seuls leurs flancs maintiennent ouvertes certaines porosités, ce qui ramène l'infiltration à un niveau constant de 15,7 mm/h.

Ce comportement diffère donc beaucoup de celui d'une défriche traditionnelle (E) où les effets des débris végétaux et du laci racinaire ont été évoqués précédemment et, au bilan, les ruissellements sont 5 fois plus importants sur le traitement F.

Le comportement du sol labouré à plat (G) est intermédiaire, avec l'apparition rapide d'un ruissellement d'abord de faible intensité (1er palier

entre 10 et 20 mn), puis une augmentation lente mais continue des intensités jusqu'à 65 mn, où aucun palier d'infiltration ne semble encore atteint ( $F = 29,5$  mm/h). L'observation de ce traitement, pendant l'averse simulée, permet d'attribuer le pseudo-palier des 10 mm/h à une résurgence sur le 1/4 inférieur de la parcelle (soit 2,5 m) d'un ruissellement hypodermique provenant de la partie amont. Par contre, à partir de 30 mn, la totalité de la parcelle participe au ruissellement superficiel.

### Erosion

On a volontairement gardé sur la figure IV.13 la même échelle des turbidités pour les situations E, F et G afin de mieux visualiser leurs évolutions et les différences d'intensité.

Le turbidigramme du labour à plat (G) est résolument de type 5 avec un accroissement continu et approximativement linéaire des charges de 7 à environ 22 g/l ; ceci traduit la mobilisation croissante d'éléments détachés des mottes de labour par le splash (composante Csp) à laquelle s'ajoute l'abrasion d'un flux de ruissellement turbulent. Aucune stabilité n'est atteinte à l'issue de l'averse et il en résulte une érosion considérable de quelque 4 T/ha. Ce comportement s'oppose à celui des sols des zones sèches lorsqu'ils sont soumis aux mêmes traitements. En zone ferrallitique, une stabilité structurale relativement plus forte contribue à alimenter l'érosion de façon continue, car les mottes de labour ne se désagrègent que lentement et créent ainsi une forte rugosité donc une faible interception de l'énergie des pluies, puisque l'épaisseur de la lame d'eau ruissellante est très hétérogène. En zones plus sèches, l'effondrement plus rapide des structures amène le lissage du sol, une répartition plus homogène de la lame de détention superficielle, donc une plus forte interception de l'énergie des pluies.

D'une façon qui peut apparaître paradoxale, on peut dire que cette plus forte stabilité des structures est génératrice d'érosion.

Le turbidigramme des buttes (F) est de type 1 et indique une stabilisation de l'érosion qui est atteinte, dans le cas présent, après 40 mn. Ceci peut surprendre, compte tenu de l'importante rugosité issue de ce traitement. En fait, les structures superficielles de chaque butte évoluent indépendamment les unes des autres mais ce, de façons identiques selon le processus illustré sur la figure IV.14 et dont les répercussions sur la conductivité seront reprises dans la cinquième partie.

1) Les sommets uniquement soumis au splash (Csp) se désagrègent, s'émoussent, il s'y constitue une pellicule de battance colmatant partiellement les porosités initialement ouvertes sur la surface.

2) Les flancs des buttes voient leur inclinaison augmenter par microravinements jusqu'à une pente limite d'angle  $\alpha$  fonction de la cohésion de l'ensemble. A ce stade, aucune organisation pelliculaire ne peut plus s'y former car l'énergie des pluies se dissipe sur une surface augmentant avec cet angle limite ("effet cosinus") ; sa dégradation spécifique diminue proportionnellement, se stabilise et des porosités réapparaissent sur les flancs des buttes limitant le ruissellement. Dans certains cas, les pellicules du sommet peuvent même former un léger surplomb qui ajoute à son action protectrice,

3) Les matériaux mobilisés et entraînés par les deux processus précédents s'accumulent, par contre, dans les interbillons où les porosités se colmatent.

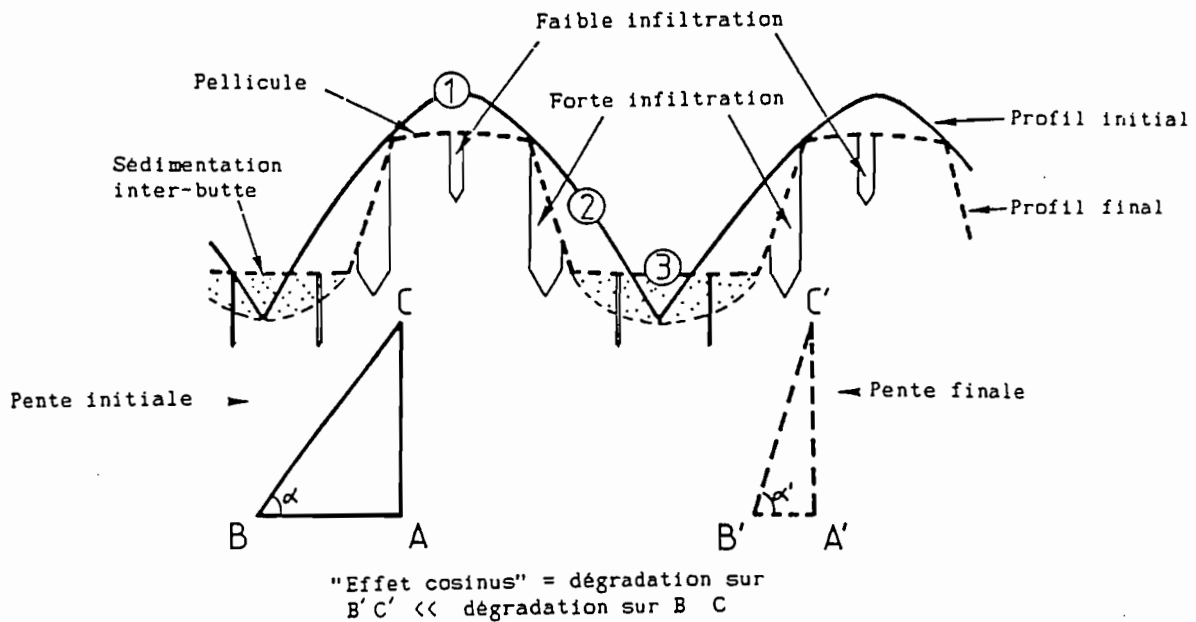


Fig. IV.14.: TAÏ 3, évolution du buttage au cours d'une averse, modification de l'inclinaison du plan d'impact des gouttes  $\Rightarrow$  "effet cosinus".

Pour chaque butte, le résultat final est l'instauration d'un état d'équilibre expliquant les paliers de turbidité (Cx) et de ruissellement (Rx). Il est possible que l'érosion puisse, elle aussi, se stabiliser. Cependant le déroulement de ces différents processus est à l'origine d'érosions 45 fois plus importantes que celles de la défriche autochtone (E) et les ruissellements sont également 5 fois plus importants.

#### **VIII.4. Conclusion partielle : une première évaluation sur la dynamique actuelle de quelques surfaces représentatives.**

Les méthodes de dépouillement de deux types d'enregistrements graphiques concernant l'hydrodynamique permettent d'identifier un certain nombre de variables dont l'amplitude de variation et les interliaisons éventuelles ont été analysées à l'aide de quelques exemples illustrant les comportements de parcelles placées dans différentes situations expérimentales. Des hypothèses de travail ont été dégagées qu'il conviendra maintenant de confirmer, étayer, modifier ou infirmer dans le chapitre suivant.

On peut, dès maintenant, retenir quelques faits saillants éclairant des comportements suffisamment répétitifs pour qu'ils puissent servir de fil

directeur aux analyses ultérieures. On les résumera sous la forme d'une série de propositions en suivant ce qui nous semble correspondre à une "logique de fonctionnement" des systèmes étudiés :

1) dans la majorité des cas, il a été mis en évidence une faible influence de la capacité porale des horizons pédologiques de profondeur sur l'hydrodynamique superficielle,

2) ceci est lié aux modifications structurales de l'extrême surface du sol amenant la formation d'organisations pelliculaires limitant l'infiltration,

3) ces organisations pelliculaires sont à l'origine d'augmentations importantes des intensités de ruissellement, mais pas forcément de celles de charges solides alimentant l'érosion pour une averse donnée,

4) l'évolution de ces charges solides tout au long d'une averse unitaire n'est pas anarchique mais suit des modes suffisamment répétitifs pour qu'il ait été possible de dresser une "typologie des turbidigrammes", chacun des types de turbidigrammes étant caractéristique d'une succession de processus de mobilisation et de transport d'éléments érodables,

5) parmi ces processus, certains, établis par des études antérieures, ne nécessitent pas de nouveaux développements ; il s'agit en premier de l'effet "splash" qui alimente la turbidité dès la phase d'imbibition et aussi pendant la phase de régime transitoire du ruissellement ; cette première composante (Csp) résulte de l'action directe de l'énergie cinétique des gouttes de pluie sur des matériaux plus ou moins agrégés,

6) cette énergie peut être dissipée avant le niveau du sol par toutes sortes de structures interceptrices fragmentant les gouttes, donc diminuant leurs masses et ralentissant leur vitesse d'impact ; il peut s'agir de couverts végétaux vivants, présentant une densité et un port plus ou moins efficace, de débris végétaux épendus sur le sol, d'une charge plus ou moins grande en éléments grossiers rigides : plusieurs exemples ont démontré leur efficacité quant à une limitation de la détachabilité et de la vitesse du courant de ruissellement,

7) cette interception peut également être assurée par la lame d'eau recouvrant le sol pendant le ruissellement (Dm), mais celle-ci intervient moins par son volume que par son épaisseur en tous points de la parcelle : la microtopographie modifie sensiblement la répartition de cette lame d'eau, donc l'épaisseur, donc l'action interceptrice.

8) cette microtopographie peut exister naturellement, on peut aussi la créer par diverses techniques culturales, elle peut évoluer sous l'effet de contraintes ultérieures. Quoi qu'il en soit, les parties de sol émergées subiront plus longuement l'effet splash en l'absence d'autres écrans intercepteurs,

9) pour une contrainte donnée, on constate que les structures les plus fragiles se désagrègent rapidement, ce qui contribue à un lissage plus ou moins parfait de la parcelle ; il en résulte ainsi une répartition homogène de la lame d'eau ruissellante et, une diminution de la détachabilité, donc de la

charge solide à partir d'un instant correspondant à l'effondrement total des structures pédologiques,

10) pour toutes raisons inverses, les structures **plus résistantes** ont tendance à alimenter le débit solide de façon plus durable d'où la conclusion, apparemment paradoxale, d'érosions plus importantes sur des structures plus stables (cependant on n'a pas eu l'occasion de tester le comportement de structures **très résistantes** de sols qui ne sont pas représentés dans la zone étudiée),

11) une autre composante de la turbidité se manifeste très tôt, il s'agit du stock des matériaux immédiatement mobilisables (Cst) par les courants de ruissellement. Ils peuvent avoir différentes origines : sédiments abandonnés par diminution de la compétence du ruissellement lors de l'arrêt de la pluie précédente, terre remaniée par l'activité de la faune du sol entre deux averses consécutives, apports éoliens, éléments dégagés par divers processus physiques.

En abordant maintenant le domaine des **hypothèses**, il apparaît que d'autres composantes de turbidité peuvent ajouter leurs effets à ceux qui viennent d'être énumérés.

- Pendant la phase du régime permanent de ruissellement, les charges peuvent rester constantes (Cx des turbidigrammes 1, 3, 4 et 6). Ce ruissellement à charge constante est caractéristique d'une abrasion en nappe (sheet erosion des auteurs anglo-saxons) désignée par la composante Cn, d'efficacité moins grande que le splash et principalement liée au détachement sous lame d'eau ruisselante au dépens de matériaux dont la cohésion est, pour partie, liée à la teneur en eau. L'intensité de cette abrasion est renforcée par la turbulence du flux.

- Dans d'autres cas, on assiste à une reprise très importante de l'érosion à la suite d'une période de turbidité en palier ; différentes raisons peuvent être avancées :

- si le niveau des contraintes d'origine pluviale est constant (Intensité d'averse, débit de ruissellement), il faut alors admettre que la nature du matériau soumis à ces contraintes **change**, il y aurait alors dégagement progressif de microstrates de sol de cohésions différentes, ceci est en accord avec bien des examens méso- et microstructuraux des organisations pelliculaires,

- s'il y a variation des contraintes, les organisations étant métastables dans une étroite limite de contraintes, leurs faibles variations auront des effets amplifiés.

On a enfin analysé les répercussions de quelques techniques culturales traditionnelles dans les zones sèches et dans les zones humides : la rugosité créée artificiellement est à l'origine d'un allongement de la phase d'imbibition, donc d'un gain d'infiltration mais le niveau final de l'érosion pour une averse unitaire dépendra de la "tenue" de ces rugosités donc de la cohésion du sol ; la désagrégation des mottes de labour avant l'apparition du

ruissellement provoque une accumulation de sédiments non exportés ; les premiers ruissellements prennent ensuite en charge ces sédiments pour peu qu'ils atteignent une intensité suffisante. Tout dépendra donc de la stabilité des structures artificielles et l'on constate la même relation paradoxale que précédemment entre érodabilité et stabilité structurale, selon les domaines pédologiques.

Tout au long de cet "itinéraire" des causes et de leurs effets déduits de quelques exemples, il apparaît de nombreuses convergences de comportements qui semblent être dus à des processus différents. L'interface que privilégie peu à peu cette étude est un milieu complexe où les interactions de variables moins efficaces dissimulent la prépondérance d'une ou de quelques variables efficaces.



## **CHAPITRE IX**

### **LES RUISSELLEMENTS**

L'étude des principaux processus observables et les trois exemples d'analyse présentés dans le chapitre VIII ont permis de dégager bon nombre de relations fonctionnelles liant les variables issues du dépouillement des données expérimentales et celles fournies par la caractérisation des sols.

On se propose maintenant d'ordonner, si cela est possible, les comportements hydriques des différents types de sols du transect par l'étude de leurs ruissellements et des paramètres qui en découlent. Cette analyse se fondera essentiellement sur les évolutions des lames ruisselées en fonction des hauteurs cumulées des averses. Elle concernera donc l'observation de phénomènes globaux et ne pourra donc pas prétendre à une compréhension des mécanismes intimes expliquant la plupart des comportements, ce qui sera par contre abordé dans la cinquième partie.

Il est cependant utile d'identifier et de classer ces comportements globaux dans une étude où l'on suppose que l'extension des sites étudiés en latitude et la multiplicité des situations naturelles ou créées par l'expérimentation doivent être à l'origine de nombreuses "réponses significatives et spécifiques". Si tel est le cas cela permettra d'établir de fortes liaisons entre la caractérisation "statique" des sols et leur dynamique actuelle ; si tel n'est pas le cas, il nous appartiendra de découvrir toutes raisons de la dispersion ... ou de la convergence des réactions.

Cette démarche sera commune pour les sols en leur état naturel de fin de saison sèche, pour les sols soumis à un labour à plat de référence, pour des sols munis de leur couvert végétal de saison des pluies, pour des sols soumis à des pratiques culturales traditionnelles ou plus élaborées.

#### ***IX.1. Les lames ruisselées cumulées : comparaisons liées aux différentes situations expérimentales.***

##### ***IX.1.1. Réaction des sols en leur état naturel de la fin de la saison sèche.***

Afin de faciliter toutes comparaisons, on résume dans le tableau XXXIX quelques caractéristiques des sols des différents couples de parcelles ainsi que celles de leur environnement.

**TABLEAU XXXIX**  
Rappel de quelques données descriptives des sols  
et de leur environnement

SITES		PENT.	TEXT.	MORG.	ETAT DES SURFACES				CLASSIFICATION
1		2	3	4	a	b	c	d	6
OURLI	1	1,5 - 3,3	4 - 12	0,4	4	96	0	65	Isohumique brun rouge sub-aride
	2	0,4 - 0,5	24 - 39	0,9	69	11	20	28	Isohumique brun sub-aride vertique
	3	0,7 - 1,0	5 - 45	0,5	34	66	0	7	Ferrugineux tropical lessiv, hydrom.
GALMI	1	0,6	10 - 18	0,4	18	40	42	10	Ferrugineux tropical peu lessivé
	2	2,8	20 - 37	1,2	10	72	18	51	Isohumique brun-rouge sub-aride
	3	3,5	7 - 15	0,5	6	94	0	52	Isohumique brun sub-aride
	4	1,9	30 - 36	1,8	45	55	0	13	Isohumique brun sub-aride vertique
POUNI	1	7,5	26 - 61	1,3	20	0	80	10	Peu évolué non climatique d'érosion
	2	2,5	24 - 53	2,5	0	0	100	30	Ferrugineux tropical appauvri modal
	3	0,9	18 - 44	1,4	85	0	15	5	Ferrugineux tropical peu lessivé
ST PAUL	1	4,5	7 - 14	1,0	80	10	10	10	Peu évolué non climat, éros, lithique
	2	2,6	7 - 27	0,7	50	50	0	30	Ferrug, trop, lessiv, concrét, hydrom.
BATANGA	1	1,4	30 - 41	1,4	90	0	10	40	Brun eutrophe tropical vertique
LOUMBILA	1	1,4	7 - 18	1,0	50	30	20	5	Ferrugineux tropical appauv, induré
KORHOGO	1	1,5	20 - 50	1,0	60	30	10	10	Ferrallitique moyen, désaturé typique
	2	3,5	16 - 53	2,7	20	0	80	15	Ferrallitique moyen, désaturé remanié
	3	3,5	16 - 53	2,7	20	0	80	15	Ferrallitique moyen, désaturé remanié
	4	2,5	-	-	30	10	60	20	Ferrallitique moyen, désaturé induré
	5	2,5	4 - 44	0,4	10	90	0	15	Hydromorphe minéral à pseudogley
SAKASSOU	1	2,3	10 - 26	1,1	--	--	--	15	Ferrallitique moyen, désaturé remanié
	2	3,7	14 - 31	1,7	--	--	--	15	Ferrallitique moyen, désaturé remanié
	3	4,5	4 - 14	1,2	--	--	--	25	Hydromorphe minéral à pseudogley
	41	3,8	8 - 33	1,4	--	--	--	30	Ferrallitique moyen, désaturé typique
	42	2,8	8 - 33	1,4	--	--	--	30	Ferrallitique moyen, désaturé typique
TAÏ	1	19,8	40 - 60	5,7	--	--	--	50	Ferrallitique fort, désat, remanié modal
	3	7,3	22 - 41	2,4	--	--	--	50	Ferrallitique fort, désat, appauv, ind.

#### Légende

Colonne 2 : pente topographique (%)

Colonne 3 : argile maximum des horizons A et B (%)

Colonne 4 : matière organique entre 0 et 10 cm (%)

Colonne 5 : occupation de la surface du sol par :

- a : des pellicules de battance ou de décantation
- b : des voiles sableux
- c : des éléments grossiers ( $\varnothing > 2,0\text{mm}$ )

Colonne 5 bis d : recouvrement par des débris végétaux (%)

Colonne 6 : classification des sols (C.P.C.S.).

Le terme "état naturel de fin de saison sèche" définit la situation de sols secs dépourvus de tous couverts végétaux vivants. En zones sahélienne et nord-soudanienne la dessiccation intéresse la totalité du profil dont l'humidité se situe en deçà de celle caractérisant le point de flétrissement permanent (ultradessiccation). En zones sub-soudanienne et guinéenne, cette dessiccation avoisine l'humidité au point de flétrissement mais des réserves

hydriques encore situées dans la gamme d'eau utilisable peuvent subsister au-delà de 1,50 m ou plus haut s'il existe une action de nappe ; dans tous les cas une rupture du lien capillaire a interrompu les remontées hydriques.

Les **débris végétaux** dénombrés dans le tableau précédent par la méthode des points quadrats peuvent être érigés ou couchés sur le sol. Il s'agit le plus souvent de chaumes graminéens, leur proportion ne fournit pas d'indication sur la densité du couvert vivant car ils sont souvent ramassés et utilisés par l'homme ou consommés par le bétail.

Le développement des **organisations superficielles** représentent les ultimes effets des pluies de la saison précédente ainsi que des dépôts éoliens. Elles sont facilement identifiables et quantifiables dans le nord où l'activité de la faune fouisseuse s'interrompt rapidement et totalement. Elles deviennent plus difficilement identifiables et quantifiables en zone guinéenne, où l'activité de cette faune plus intense et durable a provoqué souvent un important remaniement de ces organisations.

Sur TAï, cet "état naturel" serait une forêt dense sempervirente ombrophile, milieu qui n'a évidemment pas pu être étudié sous simulateur de pluies étant donné la densité du sous-bois et la hauteur des arbres. On a cependant retenu, pour compléter les comparaisons, la situation d'une défriche forestière récente suivie d'un brûlis, telle qu'elle a été décrite dans la deuxième partie.

#### a) Les coefficients de ruissellement moyens KR2

Ces coefficients de ruissellement moyens se calculent en se fondant sur la relation liant les lames ruisselées cumulées (SL), aux hauteurs de pluies cumulées (SPu), :

$$SL = a(SP_u - b)$$

...équation d'une régression de type linéaire qui est effectivement représenté dans 55 % des cas étudiés mais devient plus approximative pour les autres où elle présente une tendance curvilinéaire.

Les constantes "a" et "b" ne peuvent être des caractéristiques pures des parcelles, car, elles dépendent des protocoles expérimentaux sensiblement différents d'un site à l'autre. Malgré cette remarque, la détermination de KR2 permet de bonnes comparaisons dans près de 90 % des cas compte tenu de la similitude des protocoles.

On a représenté sur les figures IV.15. et 16. les valeurs atteintes par KR2, ordonnées depuis les zones sahéliennes (OURSI) jusqu'aux zones guinéennes ombrophiles (TAï).

Sur la figure IV.15. les déterminations de KR2 correspondent à des hauteurs de pluies cumulées SPu générant des érosivités cumulées SEV identiques à celles issues de hauteurs de pluies naturelles annuelles des différents sites. Rappelons que cette érosivité fournit une meilleure appréciation des contraintes liées aux pluies en tenant compte de leurs énergies cinétiques. Les histogrammes de la figure IV.15. représentent donc la série des résultats

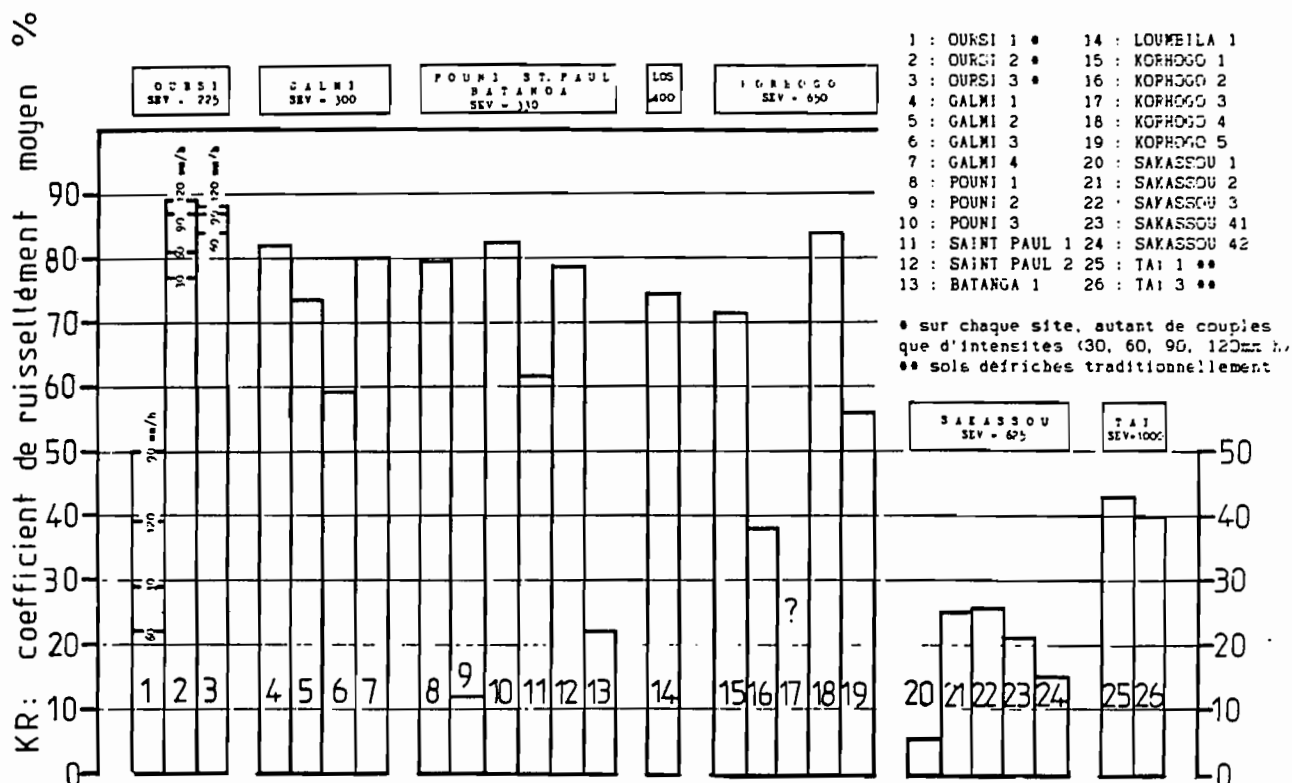


Fig. IV.15. : Histogramme des coefficients moyens du ruissellement des parcelles "naturelles", pour des érosivités cumulées conformes aux précipitations annuelles (225 à 1000 points selon les latitudes des sites).

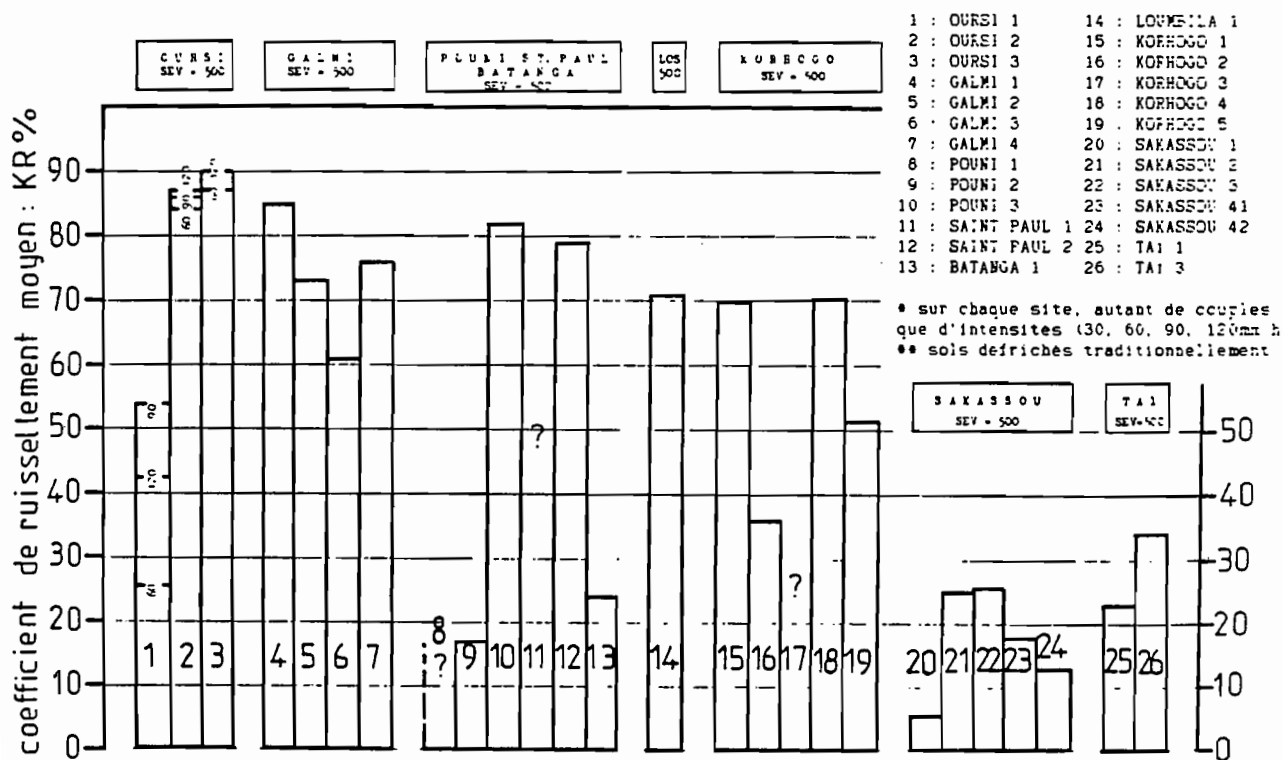


Fig. IV.16. : Histogramme des coefficients moyens du ruissellement des parcelles "naturelles", pour des érosivités cumulées identiques (500 points).

expérimentaux calés sur des événements climatiques annuels réels avec valeurs de SEV variant entre 225 (OURSI) et 1000 joules/m<sup>2</sup> x mm.

Il est apparu également intéressant de comparer les réactions des parcelles isolées des contingences climatiques locales en retenant des hauteurs SPU correspondant à une érosivité médiane unique de 500 joules/m<sup>2</sup> x mm, les différentes valeurs prises alors par KR2 sont reportées sur la figure IV.16.

L'analyse des histogrammes amène les commentaires suivants :

- on n'observe pas d'évolution latitudinale progressive, KR2 se maintient à un niveau élevé jusque dans la zone sub-soudanienne, c'est-à-dire dans le nord de la Côte d'Ivoire (KORHOGO) puis il chute brutalement dès le passage en zone guinéenne,

- à l'intérieur d'une zone climatique donnée, des sols très différents fournissent des lames ruisselées voisines ; par exemple, les sols lessivés tropicaux sableux grossiers du site OURSI 3 se comportent de la même façon que les sols isohumiques vertiques argilo-sableux du site OURSI 2,

- on découvre cependant, dès la zone sahélienne, quelques ruissellements plus faibles que ceux qui caractérisent plus généralement l'ensemble des zones sahéliennes et soudanienne :

- sur des sols argileux à affleurements gravillonnaires (POUNI 2),
- sur des sols argilo-sableux vertiques à structure fortement développée en surface (BATANGA 1).

- la comparaison des figures IV.15. et IV.16. permettant de repérer tout changement de comportements liés à une variation de l'érosivité, fait apparaître une remarquable stabilité, ou une indépendance par rapport aux facteurs externes, dans les zones septentrionales ; par contre, dans les zones guinéennes, KR2 augmente avec le cumul des érosivités, donc avec les hauteurs cumulées des pluies. Ceci est particulièrement net sur TAÏ en amont de versant ; cette relation est moins visible sur SAKASSOU car, là, l'érosivité fixée à 500 points est trop peu différente de celle correspondant aux précipitations annuelles (SEV = 625).

Des compléments d'informations peuvent ensuite être fournis en étudiant les différentes courbes illustrant les relations liant les lames ruisselées cumulées aux précipitations cumulées  $\Rightarrow SL = f(SPU)$ .

b) L'évolution des lames ruisselées, relations  $SL = f(SPU)$ .

Le traitement de l'ensemble des données a permis de tracer toute une série de courbes dont deux séries d'exemples montrent les faisceaux les plus caractéristiques pour les zones climatiques extrêmes (figure IV.19).

En préliminaire, signalons que les sols des sites d'OURSI ont été l'objet de protocoles particuliers destinés à dégager préférentiellement les influences des intensités d'averses sur les trois types de sols. C'est ainsi que les couples de parcelles OURSI 11, 12, 13 et 14 installés sur le sol du site 1 ont respectivement reçu des averses à 30, 60, 90 et 120 mm/h ; le même principe fut retenu sur les parcelles du site 2 (OURSI 31, 32 et 33). Pour tous

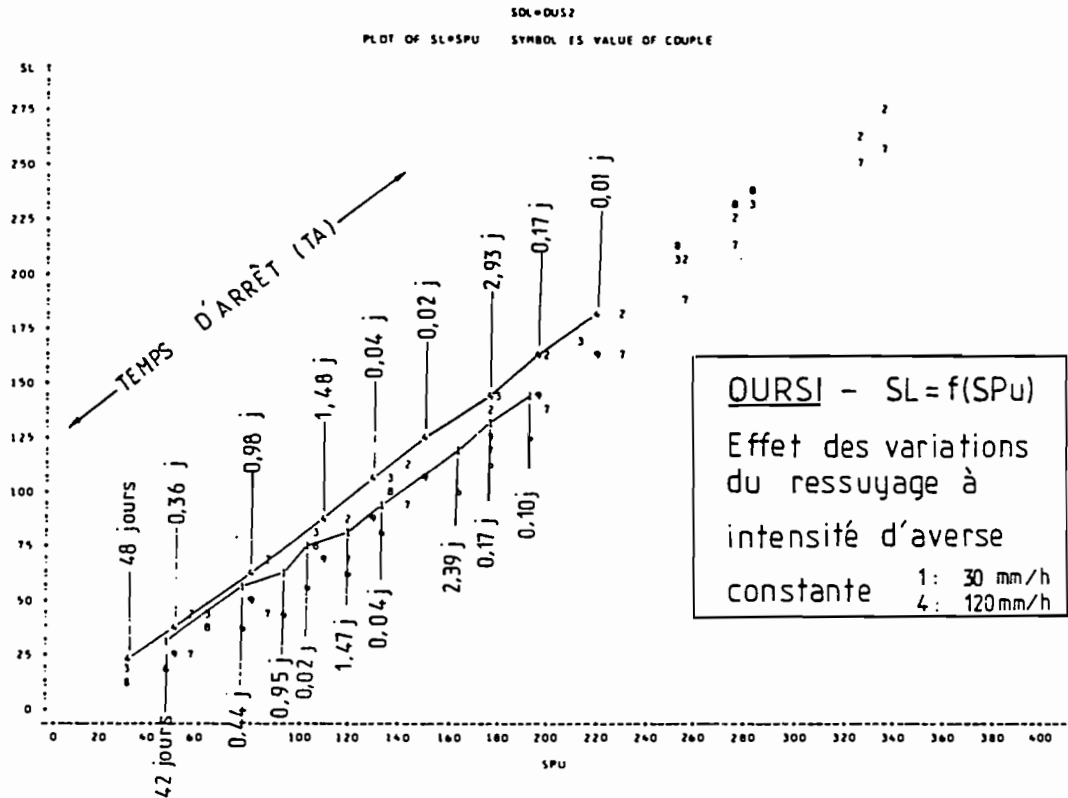


Fig. IV.17.: OURSI 2, évolution des lames ruisselées cumulées, effets des temps de ressuyage pour des trains d'averses à intensités identiques.

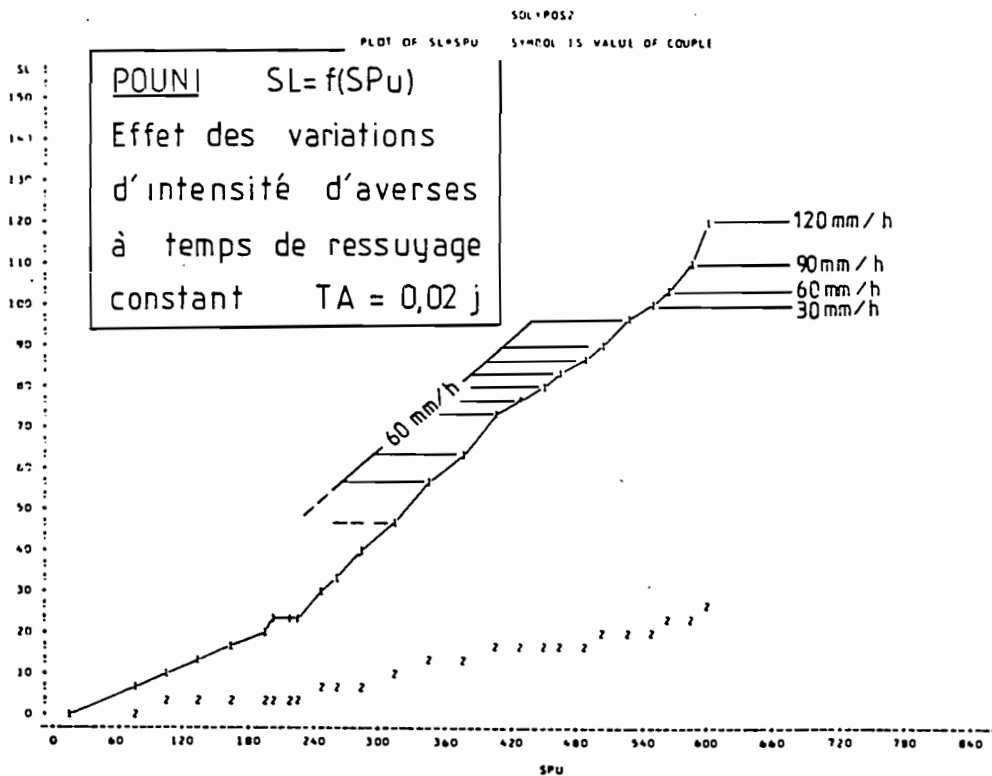


Fig. IV.18.: POUNI 2, évolution des lames ruisselées cumulées, effets des variations des intensités pour des temps de ressuyage identiques.

les autres sites, par contre, les protocoles prévoyaient des variations d'intensité sur le même type de sol.

Toujours en préliminaire notons que le lissage des courbes atténue, ou fait disparaître à petite échelle, les microvariations des débits de ruissellement répercutant les effets instantanés des variations des temps de ressuyage ( $T_a$ ) ou des intensités ( $I$ ). Pour les mettre en évidence, on a reproduit quelques tracés originaux, à plus grande échelle, sur les figures IV.17. et IV.18 :

- à intensité de pluie constante (figure IV.17.), événement facile à isoler sur OURSI pour les raisons évoquées précédemment, on constate des inflexions positives de SL lorsque  $T_a$  diminue et des inflexions négatives pour tout allongement du temps de ressuyage. Ceci n'est cependant détectable que pour les faibles valeurs de  $I$  (OURSI 2 à 30 mm/h) et en début des essais soit pour des hauteurs de pluies encore faibles. Pour de très fortes intensités de pluies (OURSI 2 à 120 mm/h), il s'instaure par contre un régime de ruissellement apparemment constant et indépendant du temps de ressuyage,

- certains protocoles, utilisés sur POUNI et sur TAÏ, permettent de dégager, cette fois, les effets des variations d'intensités de pluies de hauteurs identiques et séparées par des temps de ressuyage identiques ou très voisins ; on constate alors que les inflexions de SL varient directement avec  $I$  mais de façon assez discrète quelles que soient les zones climatiques ; il est vrai que ces observations ne peuvent être faites qu'en fin de protocole, sur des parcelles ayant reçu la plus grande partie des hauteurs de pluies prévues (fig. IV.18.).

Sur les courbes lissées (figures IV.19.), on découvre différents types d'ajustements des couples SL, Spu. Ceux-ci traduisent différents types de comportements hydrodynamiques qui correspondent aux grands ensembles de zones climatiques avec quelques réactions intrazonales. Trois types de comportements ressortent de cette analyse, on les commentera en précisant ce qui constitue leur spécificité.

#### 1er cas : ajustement linéaire

55 % des parcelles présentent un ajustement rectilinéaire ; il s'agit d'une réaction propre aux sols des zones sahéliennes où les coefficients moyens de ruissellement  $\geq 70$  %.

La succession des hydrogrammes de ruissellement provenant de pluies d'intensités identiques présentent très rapidement des intensités minimales d'infiltration ( $F_n$ ) faibles et voisines, on verra d'ailleurs que les variations des intensités de pluies interfèrent également peu sur  $F_n$  des sols saturés.

Il s'agit de sols sujets au colmatage de leur surface dont la conductivité hydraulique saturée ( $K_{sat}$  mm/h) devient très rapidement inférieure à celle de l'ensemble des horizons sous-jacents. Dans des conditions d'infiltration permanente réalisée sous simulation de pluies, le régime d'infiltration, donc celui du ruissellement, sont ainsi quasi exclusivement contrôlés par la conductivité maximale d'une organisation pelliculaire qui joue le rôle de "barrière hydraulique" (HILLEL, 1974).

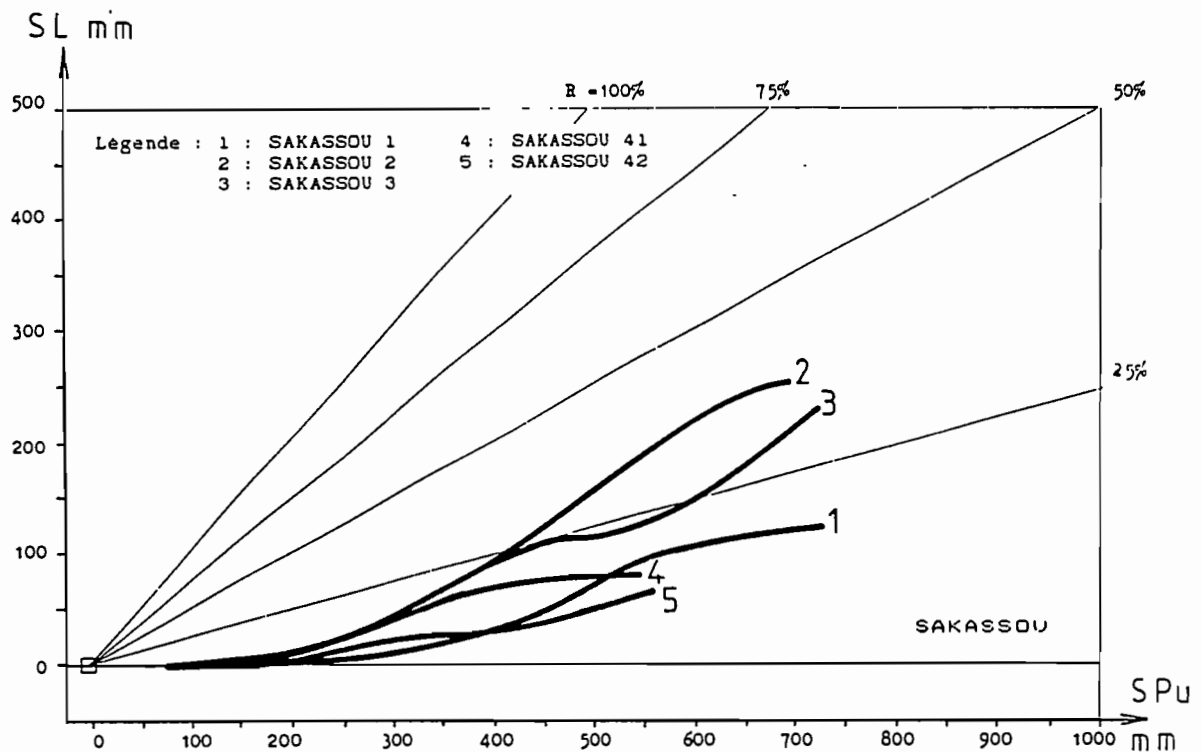
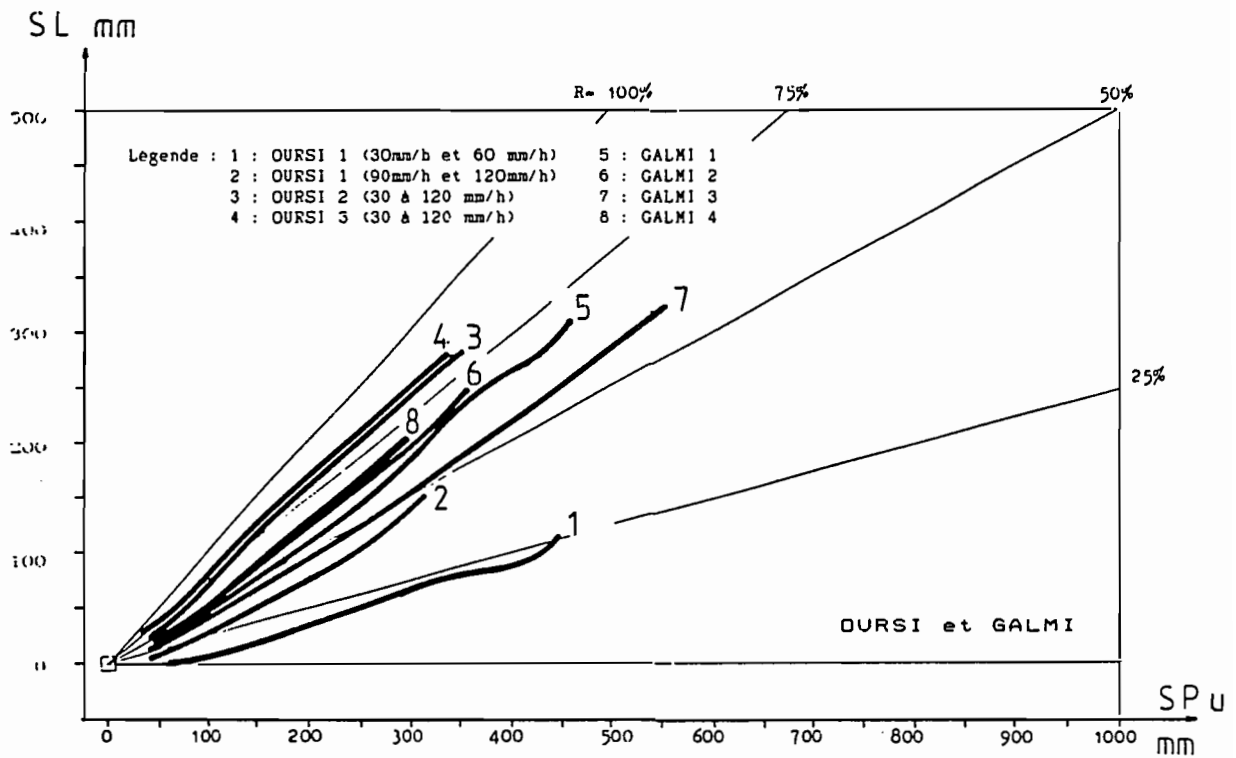


Fig. IV 19.: Evolution des lames ruisselées cumulées sur parcelles "naturelles", en zone sahélienne (OURSI et GALMI), en zone guinéenne (SAKASSOU).



Son fonctionnement peut être analysé en étendant la loi de DARCY circulations en milieu non saturé :

- en milieu saturé, la loi de DARCY s'écrit :

$$D = \frac{KS}{L} \cdot H \text{ avec}$$

$D$  = débit hydraulique,  
 $K$  = conductivité hydraulique  
 $S$  = section du milieu poreux,  
 $L$  = longueur du milieu poreux  
 $H$  = charge hydraulique.

- en milieu non saturé,  $K$  dépendra du potentiel matriciel ( $\gamma$ ) et l'on aura :

$$q = K\gamma \frac{d\gamma}{dz}$$

$q$  = flux ou débit rapporté à l'unité de surface  
 $K\gamma$  = conductivité hydraulique qui est une fonction de l'humidité du matériau poreux,  
 $\frac{d\gamma}{dz}$  = gradient de potentiel dans un espace considéré, il s'agira, ici, de l'interface pellicule/horizon sous-jacent.

Dans ces conditions d'écoulement permanent, le flux  $q_c$  traversant la pellicule est égale au flux passant dans la zone de transmission, soit  $q_u$ , situé immédiatement sous la pellicule et l'on a :

$$q_c = q_u \text{ et } K_c \frac{dH}{dz}_c = K_u \frac{dH}{dz}_u$$

où  $K_c$  et  $K_u$  sont les conductivités hydrauliques dans la pellicule et sous cette pellicule,

$$\text{et } \frac{dH}{dz}_c, \frac{dH}{dz}_u \text{ les gradients hydrauliques respectifs,}$$

sous la pellicule le gradient va tendre vers 1 avec l'augmentation de l'humidité et le flux ne sera plus contrôlé que par le seul gradient gravitaire, on aura :

$$q = K_u (\gamma_u) = K_c \frac{e + \gamma_u + Z_c}{Z_c}$$

avec  $K_u(\gamma_u)$  = conductivité hydraulique non saturée sous la pellicule dont le potentiel matriciel est  $\gamma_u$ ,

$e$  = épaisseur de la lame d'eau au-dessus de la pellicule,  
 $Z_c$  = épaisseur de la pellicule.

Comme  $e$  et  $Z_c$  sont très faibles en regard de  $\gamma_u$  on a approximativement :

$$q_u = q_c = K_c - \frac{\gamma_u}{Z_c} \text{ et } \frac{K_u}{\gamma_u} = \frac{K_c}{Z_c}$$

Cette loi de composition des infiltrabilités de différents matériaux superposés peut prendre une autre forme en définissant la "résistance" opposée par ce milieu à la propagation du flux et recourant à une analogie avec des séries de résistances électriques connectées dans un circuit (GRAS, 1972), où, selon la loi d'OHM, on a :

$$I = \frac{V}{R} = \frac{\sigma S}{L} \quad \text{avec } I = \text{intensité du courant électrique}$$

$$V = \text{différence de potentiel}$$

$$R = \text{résistance} = \frac{L}{\sigma S}$$

$$\sigma = \text{conductivité électrique}$$

$$S \text{ et } L = \text{section et longueur du conducteur}$$

Les assimilations des termes équivalents donnent :

$$\frac{K_u}{\gamma u} = \frac{K_c}{Z_c} = \frac{1}{R_c} \text{ et } R_c = \frac{Z_c}{K_c}$$

on voit que la résistance hydraulique de la pellicule croît avec son épaisseur et décroît avec sa conductivité. On découvre cependant que ce schéma est quelque peu simpliste car les organisations pelliculaires sont souvent composées de plusieurs microstrates de textures différentes, donc d'un empilement de barrières hydrauliques de conductivités différentes ce qui complique sérieusement l'énoncé d'une loi unique.

2ème cas : ajustement exponentiel.

10 à 15 % des parcelles ont des ajustements partiellement ou totalement exponentiels. Il s'agit encore le plus souvent des sols des zones sèches et, évidemment, les valeurs prises par le coefficient KR2, telles qu'elles ont été calculées, perdent une partie de leur signification avec le cumul des précipitations.

L'interprétation de cette évolution peut reposer sur deux hypothèses :

- les organisations pelliculaires sont les seules à contrôler l'infiltrabilité de l'ensemble du sol mais leur résistance hydraulique augmente progressivement avec le cumul des énergies des pluies, ceci pouvant être dû à l'accroissement des épaisseurs des pellicules et (ou) à la diminution de leur conductivité,

- ou alors cette résistance hydraulique restant faible, et variant peu, permet une infiltration en profondeur dans des horizons faiblement différenciés donc de porosité homogène ; l'ajustement exponentiel correspond à une diminution progressive de l'infiltrabilité au fur et à mesure que progresse le front d'humectation. Ceci est en accord avec les modèles classiques de l'hydrodynamique des sols où la partition entre les flux gravitaires et matriciels obéit à des règles énoncées par de nombreux auteurs.

Cette partition du flux en fonction de la dimension des porosités au cours de l'infiltration de l'eau non saturante est précisée dans le schéma de FEODOROF (1965) : "... tout se passe comme si deux phénomènes jouaient conjointement : une masse d'eau se déplace vers la profondeur sous les effets de la gravité et de la succion en suivant un chemin préférentiel correspondant

à des pores relativement gros ; simultanément, des pores plus fins et encore vides prélèvent par succion sur cette masse des quantités d'eau qui suivent un cheminement latéral et échappent ainsi au mouvement descendant". Ce processus est confirmé par HILLEL et al.(1970) : "... la décroissance du régime d'infiltration est due à la décroissance inéluctable du gradient de succion matricielle qui se produit au cours de l'infiltration..."

L'infiltration dans un sol initialement non saturé, qui correspond aux circonstances des essais de saison sèche, est la résultante des actions combinées du gradient gravitaire (macroporosité) et du gradient matriciel (microporosité). Au fur et à mesure que le profil d'humectation s'allonge, le gradient moyen de succion diminue puisque la différence globale de potentiel matriciel entre la surface saturée et la profondeur non humide se répartit sur une distance croissante. Le gradient de succion matricielle devient de plus en plus négligeable dans le profil humide en regard du potentiel gravitaire. On conçoit dès lors que, pour des conditions d'intensité de pluies constantes (simplification du schéma), l'infiltrabilité dépendra, d'averses en averses, des conditions d'humectation antérieure du sol et que le régime final sera plus rapidement atteint sur les sols initialement plus humides ; ceci confirme l'ajustement exponentiel du couple des variables SL, SPu à condition que les conductivités des surfaces restent largement supérieures à celle du profil homogène sous-jacent afin que cette dernière puisse exclusivement influencer sur le régime présenté précédemment.

Des essais de simulation de pluies (infiltromètre à aspersion sur 1 m<sup>2</sup>) qui ont été menés par IRIS et FRITSCH (1984) sur les sols alluviaux de Côte d'Ivoire vérifient le modèle précédent en précisant les modalités du stockage de l'eau au niveau des parois des macroporosités parcourues par des flux d'eau gravitaire. La succession des averses amène une alternance de vidange et de remplissage des macroporosités constituées dans le cas présent par des vides interagrégats. Dès la première pluie, les parois des vides s'humectent et, pendant la phase de ressuyage qui suit..." l'eau d'imbibition des parois est mobilisée dans deux directions, vers l'intérieur des agrégats sous l'influence du potentiel matriciel qui induit des mouvements de type capillaire, et vers la lumière des vides sous l'influence d'une succion liée à l'évaporation de l'eau à l'interface des domaines de tension capillaire et de la pression atmosphérique...". D'averses en averses, ce processus se répète et se limite par la saturation de l'ensemble des agrégats (microporosité).

Ces différentes expressions d'un même schéma conduisent ainsi à une diminution progressive de la capacité porale offerte par la microporosité, à une diminution progressive de la progression du front d'humectation dont l'humidité à son voisinage immédiat correspond alors au remplissage de pores de plus en plus fins.

Pour différentes périodes de ressuyage, le régime d'infiltration sera influencé par le déficit de saturation à la capacité au champ auquel il convient d'ajouter quelque 10 à 20 % correspondant au volume de l'air emprisonné dans les macropores entre deux averses consécutives. Il faut enfin signaler que le "dégazage" imparfait entre ces averses a une influence importante sur la constitution et l'évolution des organisations pelliculaires de la surface (cinquième partie).

### 3ème cas : ajustement curvilinéaire complexe.

30 à 35 % des graphiques présentent des ajustements curvilinéaires assez souvent assimilables à des sigmoïdes ; il s'agit presque exclusivement des sols des zones guinéennes où les coefficients moyens de ruissellement (KR2) restent inférieurs à 35 %.

Dans cette zone, la résistance hydraulique de la surface demeure, en milieu non perturbé, inférieure à celle des horizons sous-jacents grâce aux actions du couvert végétal et à une activité de la faune qui n'est jamais négligeable même en saison sèche ; le régime d'infiltration sera ainsi surtout influencé par la différenciation des horizons de profondeur.

En Côte d'Ivoire, du fait des évolutions passées, les sols présentent à faible profondeur d'importantes différenciations texturales et structurales contrairement à ce que l'on découvre dans les zones perhumides plus proches de l'équateur. Ces horizons retransmettent sur les régimes de ruissellement les différences de conductivité imposées par leurs caractéristiques intrinsèques lorsqu'ils sont traversés par le flux d'infiltration. On découvre ainsi sur les graphiques de la figure IV.19 (SAKASSOU) des inflexions positives et négatives.

- Inflexions positives.

Elles traduisent une diminution de l'infiltration dont le régime diminue au contact d'horizons à plus faible conductivité ; ce peut être le cas d'un contact entre un horizon sableux et argileux. Dans le cas contraire d'un horizon argileux superposé à un horizon plus sableux, le régime à leur interface restera bien évidemment déterminé par la conductivité de l'horizon argileux, cependant il est possible que la diminution du régime d'infiltration s'accroisse au contact des sables parce que la tension de l'eau contenue dans les capillaires humides de l'horizon argileux est trop élevée pour franchir l'interface argile/sable où le diamètre des capillaires moins humides augmente plus ou moins brutalement. Quelle que soit la texture, les effets seront donc identiques mais les causes seront différentes.

- Inflexions négatives.

Elle traduisent une augmentation du régime d'infiltration et, en dehors des causes déjà évoquées (Ta et I) provoquant les mini variations, ces évolutions plus amples sont généralement plus progressives que les inflexions négatives. Elles leur succèdent, cette évidence rend compte d'un processus qui fait suite à celui expliqué précédemment : le blocage, ou tout au moins la diminution du régime d'infiltration au niveau des interfaces précédents, provoque une saturation plus ou moins complète des horizons sus-jacents d'où une augmentation de la charge hydraulique ; pour une valeur limite de cette charge le régime d'infiltration peut augmenter de nouveau lorsque le potentiel gravitaire l'emportera sur le potentiel matriciel. Ceci se traduit par une atténuation du ruissellement mais cette augmentation du régime d'infiltration ne pourra dépasser la limite imposée par la plus faible conductivité des horizons sus-jacents initialement saturés.

### Récapitulatif

- Ajustements de type **linéaire** : OURSI 2, 3 - GALMI 2, 3, 4 - POUNI 1, 3 - SAINT PAUL 1, 2 - LOUMBILA 1 - KORHOGO 1, 2, 3, 4, 5.
- Ajustements de type **exponentiel** : OURSI 1 - GALMI 1 - SAKASSOU 42.
- Ajustements **curvilinéaires complexes** : SAKASSOU 1, 2, 3, 41 - TAÏ 1, 3.
- Comportement **azonaux** : BATANGA 1\* - POUNI 2\*\*.

### IX.1.2. Réaction des sols soumis à un labour de référence

L'une des parcelles du couple recevant les pluies simulées est systématiquement soumise à un traitement de référence qui consiste en un labour réalisé manuellement sur un sol parfaitement plané et débarrassé de tous débris végétaux aériens ou enfouis. Ce labour remanie le sol sur une profondeur de 15 à 20 cm, ceci a pour conséquence une disparition par émiettement et enfouissement des organisations pelliculaires superficielles, lorsque celles-ci existent. Ce sol labouré est ensuite griffé superficiellement (3 cm) tous les 70 cm à l'aide d'une planche à clous pour favoriser l'orientation du courant de ruissellement dans le sens de la plus grande pente en principe déjà correctement fixé lors du positionnement des deux parcelles à l'intérieur d'une aire préalablement nivelée.

Le résultat final est donc une superficie de 50 m<sup>2</sup> de sol totalement dénudé, présentant, en surface, une rugosité plus ou moins forte liée à la stabilité structurale des mottes. Cette rugosité est donc importante au départ sur les sols les plus argileux et faible sur les sols les plus sableux où ce traitement fournit une majorité d'éléments déliés.

L'objet de ce traitement, préconisé à l'origine par WISCHMEIER, SMITH et UHLAND (1958) ; WISCHMEIER (1959, 1960) ; WISCHMEIER, SMITH (1960, 1978) selon des normes précises, vise à caractériser une érodabilité maximale des sols dans toutes les régions du monde où cette technique est adoptée en uniformisant, autant que faire se peut, la façon culturale décrite précédemment.

En ce qui concerne plus précisément les essais de cette étude, il présente d'autres intérêts :

- il facilite les **comparaisons latitudinales** des caractéristiques des profils culturaux des différents sols étudiés en "remettant à zéro" les organisations de la surface, qu'il s'agisse de sa microtopographie, des différenciations texturales et structurales provoquées par les pluies et ruissellements de la saison précédente et les édifications de la faune du sol,

---

\*: deux portions de droites de pentes différentes de part et d'autre d'une valeur Spu de 200 mm correspondant à la fusion des structures superficielles par liquéfaction et à la fermeture des fissures (mécanisme analysé dans la cinquième partie

\*\* : épais niveau gravillonnaire affleurant favorisant une profonde infiltration, (KR2 voisin de 15 % pour tous sols de ce site).

- en un site donné, la comparaison de son effet avec ceux causés par d'autres situations (état naturel, couvert végétal, autres traitements culturaux), permet de dégager les limites de résistance à la dégradation et, en quelque sorte, de quantifier l'efficacité des structures interceptrices ou des autres traitements en ce qui concerne l'infiltration et l'érosion.

#### a) Les coefficients moyens de ruissellement (KR2)

On a représenté sur la figure IV.20. les différentes valeurs prises par KR2 à l'issue de hauteurs de pluies cumulées fournissant, sur tous les sols, une érosivité cumulée identique  $SEV + 500 \text{ joules/m}^2 \times \text{mm}$ . Un rappel des KR2 des sols en leur état naturel (tireté) permet les comparaisons suivantes :

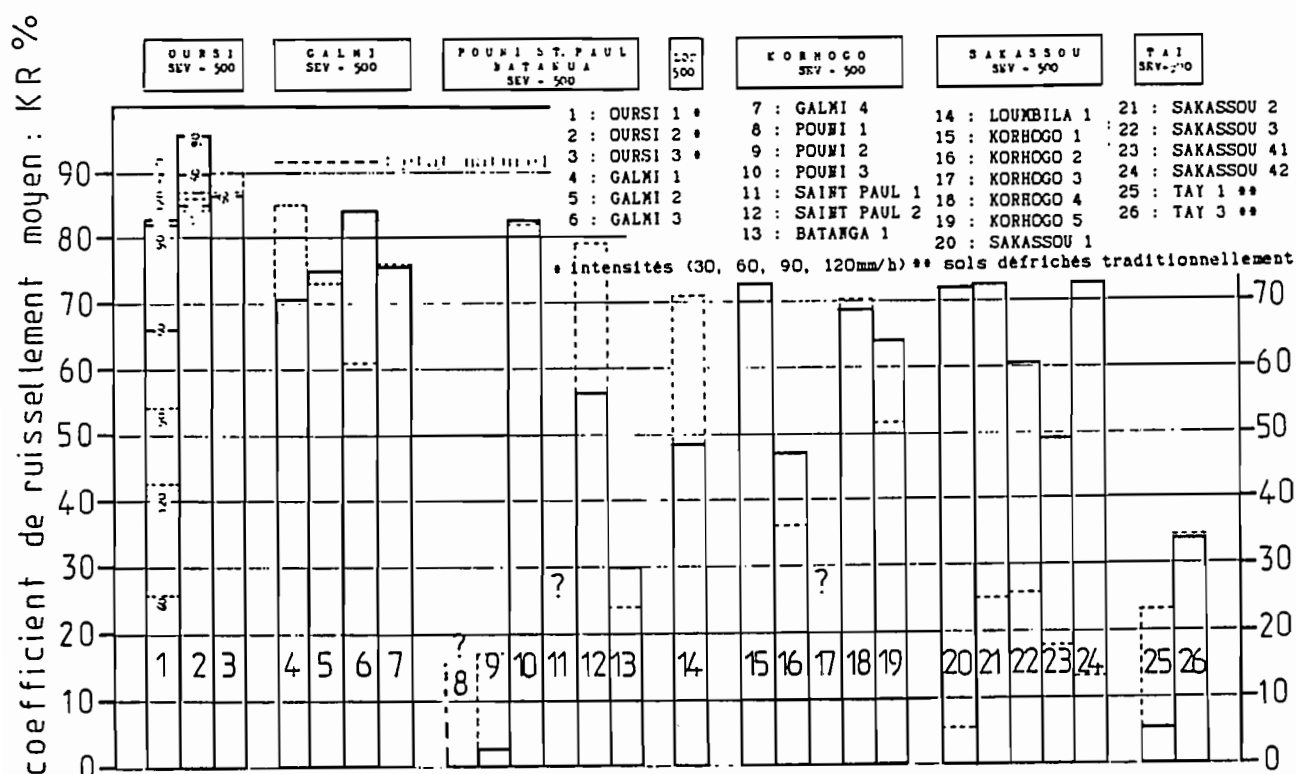


Fig. IV.20.: Histogramme des coefficients moyens du ruissellement des parcelles "labourees", pour des érosivités cumulées identiques (500 points).

- ce labour n'améliore l'infiltration que dans 23 % des cas qui correspondent, pour la plupart, aux sols plus ou moins chargés en éléments grossiers de faible granulométrie (nodules ferrugineux). Il s'agit de POUNI 1 et 2, GALMI 1, LOUMBILA 1 et TAY 1, donc souvent de sols occupant les sommets d'interfluvies ; les autres caractères (pente, texture, teneur en matière organique) ne semblent pas intervenir dans cette comparaison,

- 46 % des autres sols voient leur infiltration diminuer dans des proportions plus ou moins importantes et l'on notera les très importantes augmentations du ruissellement sur les sols des sites de SAKASSOU,

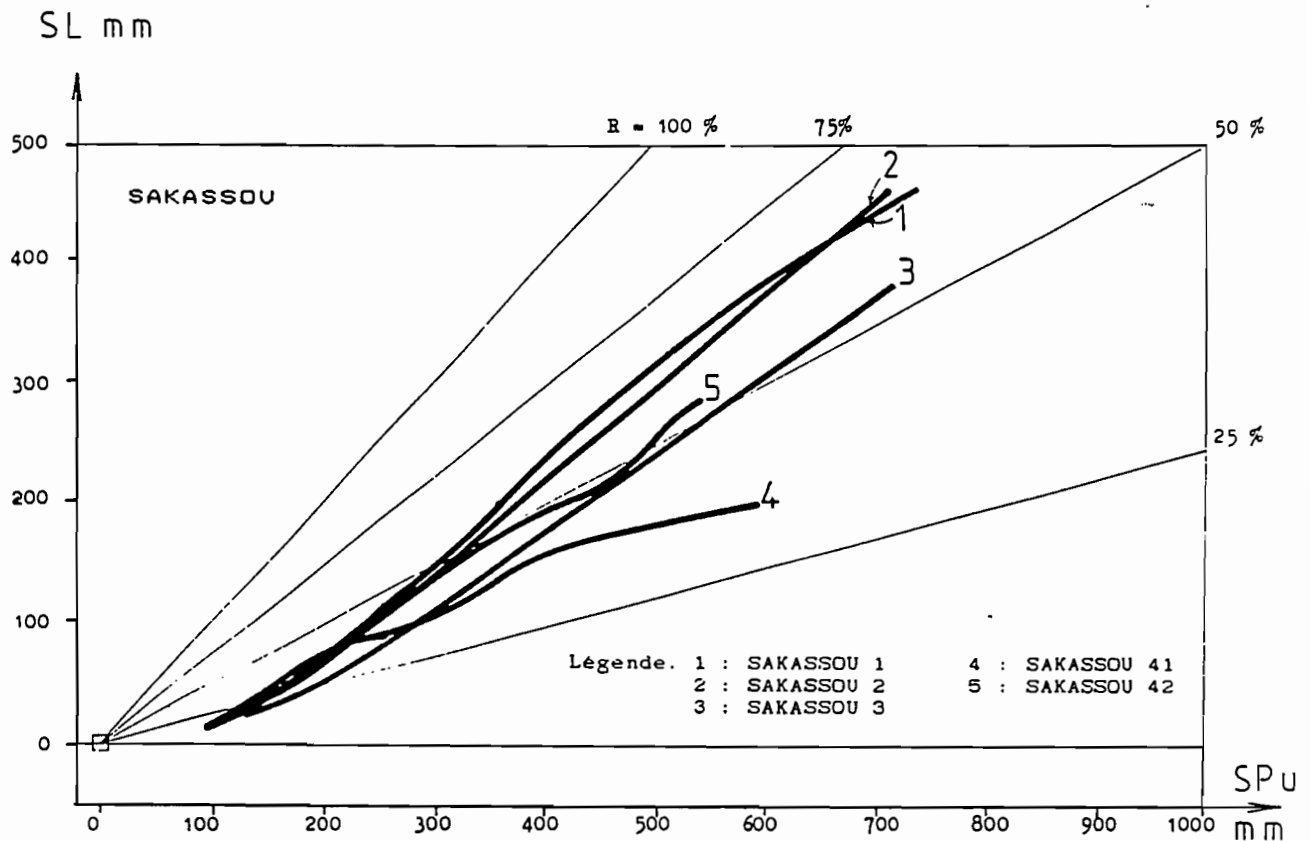
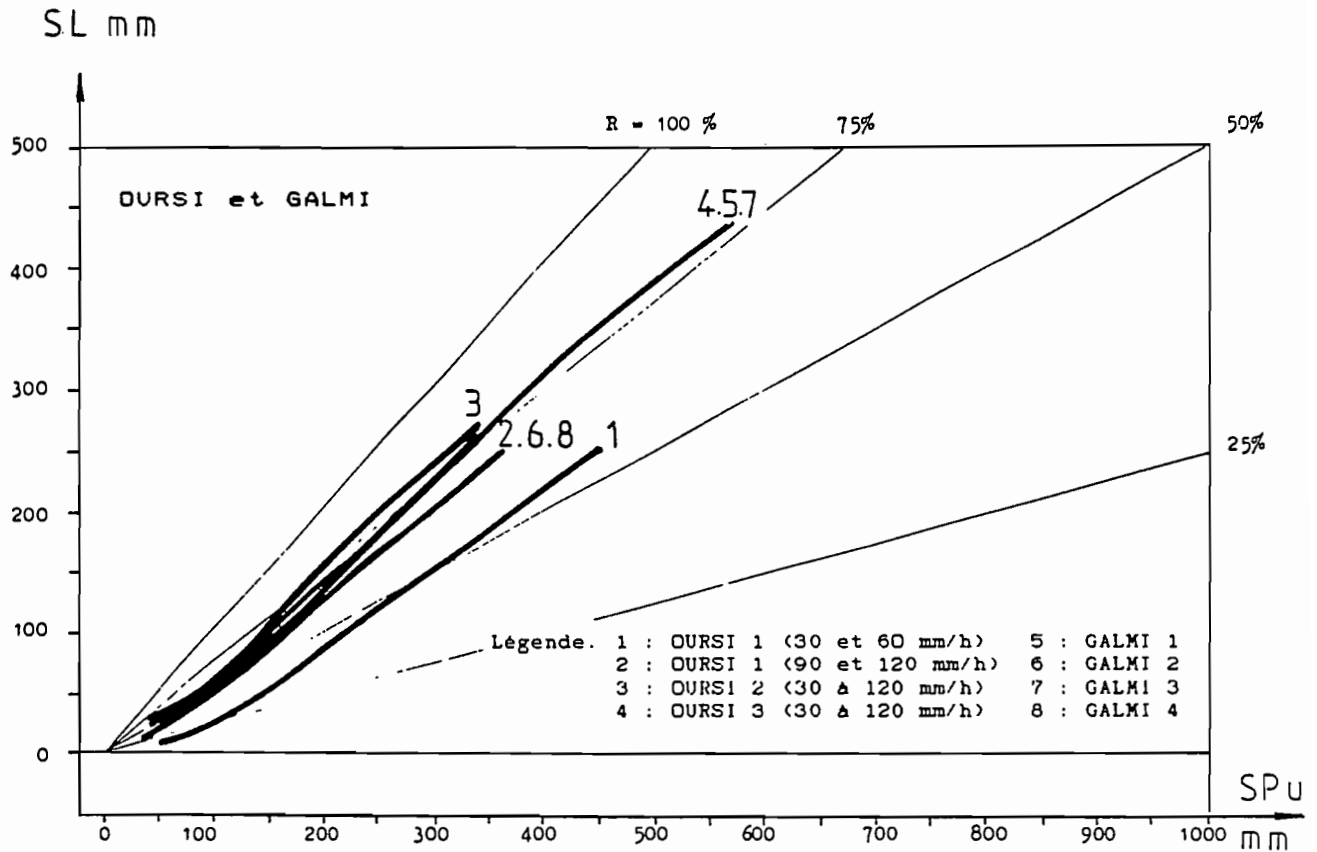


Fig. IV 21.: Evolution des lames ruisselées cumulées sur parcelles "labourées", en zone sahélienne (OURSI et GALMI), en zone guinéenne (SAKASSOU).

- dans 31 % des cas on n'observe aucune ou que peu de modification du régime de ruissellement.

b) Les relations, lames ruisselées cumulées et pluies cumulées :  $SL = f(SPu)$

Comme précédemment, des exemples de faisceaux de courbes, illustrant cette relation pour deux zones climatiques, sont présentés sur la figure IV.21.

La similitude des comportements de sols très différents déjà signalée dans le chapitre II.1.1. de cette quatrième partie est renforcée en zone sahélienne sud où les courbes issues des essais sur OURSI et GALMI sont pratiquement confondues ; par contre, à partir de la zone sub-sahélienne, la dispersion des comportements devient importante et pour améliorer l'analyse comparative des deux traitements, on se fondera alors sur une seconde expression :

$$L \text{ lab.} / L \text{ nat.} = f(SPu)$$

où le rapport des lames ruisselées instantanées provenant des parcelles labourées (lab.) et naturelles (nat.) est exprimé en fonction du cumul des hauteurs de pluies (SPu). Ce rapport est autorisé puisque les deux parcelles du couple sont exactement soumises aux mêmes protocoles expérimentaux.

La revue des représentations graphiques de cette relation (figures IV.22. à 25.) suscite les remarques préliminaires suivantes :

- comme les graphiques sont issus d'un traitement automatique de données, les échelles verticales des rapports  $L \text{ lab.} / L \text{ nat.}$  sont déterminées couples par couples par les valeurs extrêmes prises par ce rapport ; aussi convient-il de garder une bonne appréciation de son domaine de variation ; de ce fait l'amplitude des inflexions observées devra, elle aussi, être modulée en fonction de cette échelle,

- ces inflexions positives ou négatives sont fortement liées aux variations des temps de ressuyage ( $Ta$ ) séparant deux averses consécutives et, dans de moindres proportions, aux changements d'intensité de pluies consécutives :

- l'augmentation de  $Ta$  provoque dans la majorité des cas, une plus nette diminution du coefficient de ruissellement instantané ( $KR1$ ) sur la parcelle naturelle que sur la parcelle labourée qui répercute moins les influences du ressuyage ; il en résulte ainsi une soudaine augmentation du rapport  $L \text{ lab.} / L \text{ nat.}$  d'où une inflexion positive,

- la diminution de  $Ta$  provoque, pour toutes raisons inverses, une diminution du rapport et une inflexion négative,

- les variations d'intensité, pour des  $Ta$  constants, ont nettement moins de répercussions sur le rapport des lames.

Ces remarques permettent de lisser ces différents graphiques en toute connaissance de cause et de suivre des évolutions plus générales ; on observe alors différents types de comportements comparatifs :



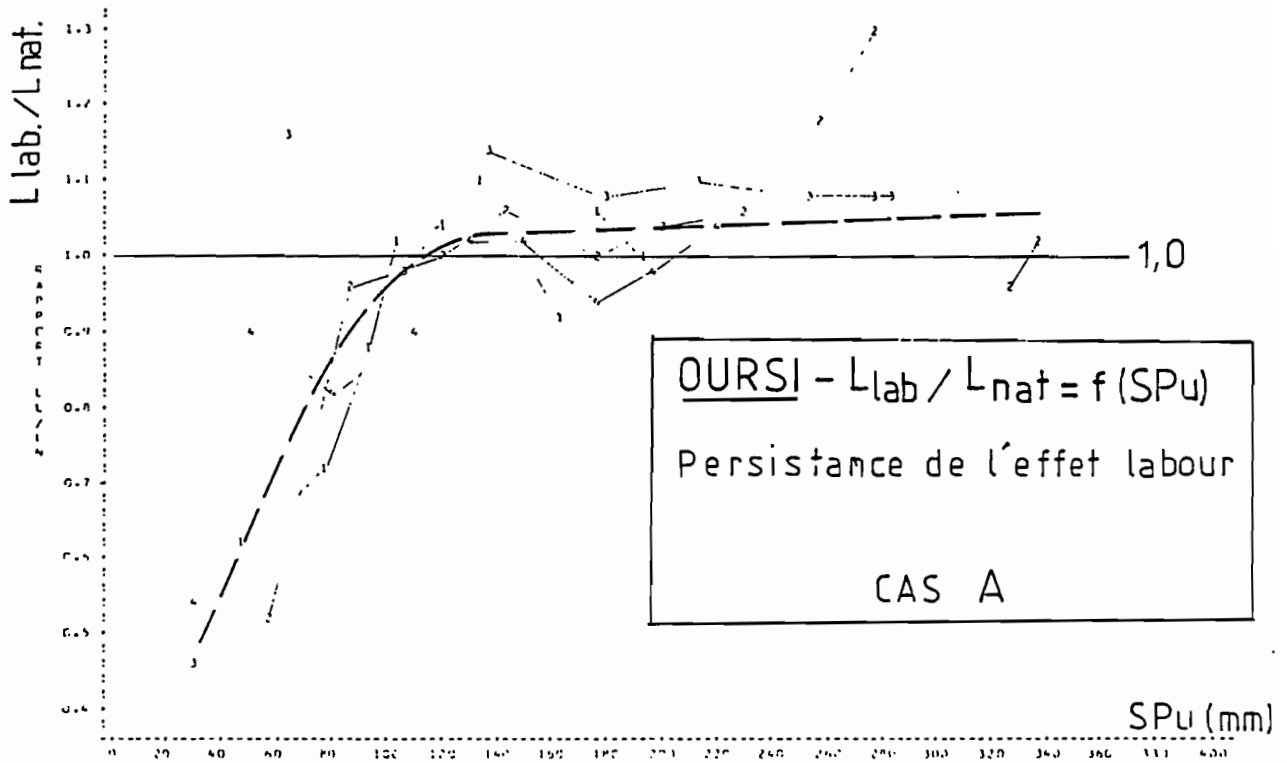


Fig. IV.22.: Analyse de la persistance de l'effet du labour, effet fugace sur OURSI 2.

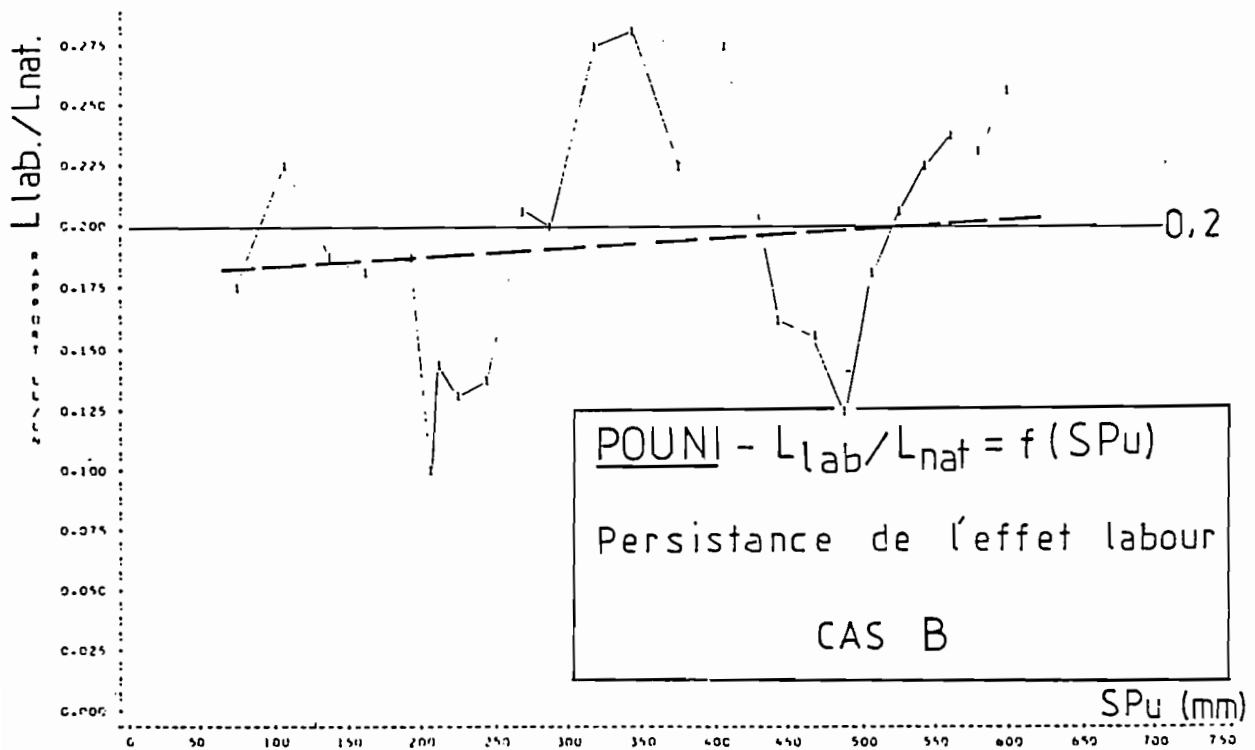


Fig. IV.23.: Analyse de la persistance de l'effet du labour, effet favorable et durable sur POUNI 2.

- cas A : le labour favorise l'infiltration dans 45 % des cas, mais cet effet est fugace puisqu'il ne correspond qu'à 150 ou 200 mm de pluies cumulées ; au-delà, le rapport  $L_{lab.} / L_{nat.}$  devient proche de 1. C'est ce qui est représenté sur la figure IV.22. et s'applique aux parcelles OURSI 2 et 3 - GALMI 1 - POUNI 1 et 3 - SAINT PAUL 1 et 2 - BATANGA 1 - LOUMBILA 1 - KORHOGO 2 et 4, donc à un vaste éventail de sols où prédominent cependant les sols ferrugineux,

- cas B : le labour favorise de façon durable l'infiltration, le rapport  $L_{lab.} / L_{nat.}$  reste constamment  $< 1$  quelles que soient les hauteurs de pluies cumulée ; il s'agit exclusivement des sols argileux **gravillonnaires de n'importe quelle zone climatique** : POUNI 2 et TAÏ 1 (figure IV. 23.),

- cas C : dans 35 % des cas, le labour n'amène d'emblée aucune amélioration de l'infiltration, le rapport  $L_{lab.} / L_{nat.}$  peut alors rester constamment proche de 1 ou alors il est très élevé au départ et décroît ensuite jusqu'à des valeurs constamment  $> 1$  ce qui s'observe lorsque le régime est contrôlé par une pellicule rapidement constituée sur labour et lorsque celui de la parcelle naturelle est influencé par les horizons profonds ; dans ce cas, l'action du labour est néfaste, il s'agit principalement de sols ferrallitiques à texture grossière : KORHOGO 3 et 5 - SAKASSOU 1, 2, 3, 41 et 42 - TAÏ 3, il s'y adjoint également les sols les plus perméables des zones plus septentrionales : OURSI 1 - GALMI 3 (figure IV.24.),

- cas D : une variante du cas précédent est représentée sur la figure IV.25. où l'effet néfaste du labour disparaît en fin de protocole par augmentation progressive du ruissellement de la parcelle naturelle : KORHOGO 1 et GALMI 4.

Les informations fournies à ce niveau d'étude se résument en un certain nombre de points qui contribueront à orienter les analyses ultérieure.

- Le labour de référence tend à homogénéiser les comportements globaux (prédominance des augmentations du ruissellement, participation de la zone guinéenne mésophile à ce type de comportement).

- Le rôle prépondérant des éléments grossiers (surtout des nodules ferrugineux) est confirmé en ce qui concerne l'amélioration de l'infiltrabilité des sols labourés, cependant les sols à forte charge en éléments grossiers se classaient déjà parmi les plus perméables en leur état naturel.

- Il apparaît une liaison entre ces effets du labour et les domaines pédoclimatiques, mais ce, en exceptant les sols gravillonnaires (cf. précédemment) et les sols à caractères vertiques affirmés ; cette liaison semble bien être due au comportement particulier de la surface du sol.

Les schémas synthétiques de la figure IV.26. rendent compte de ces différences.

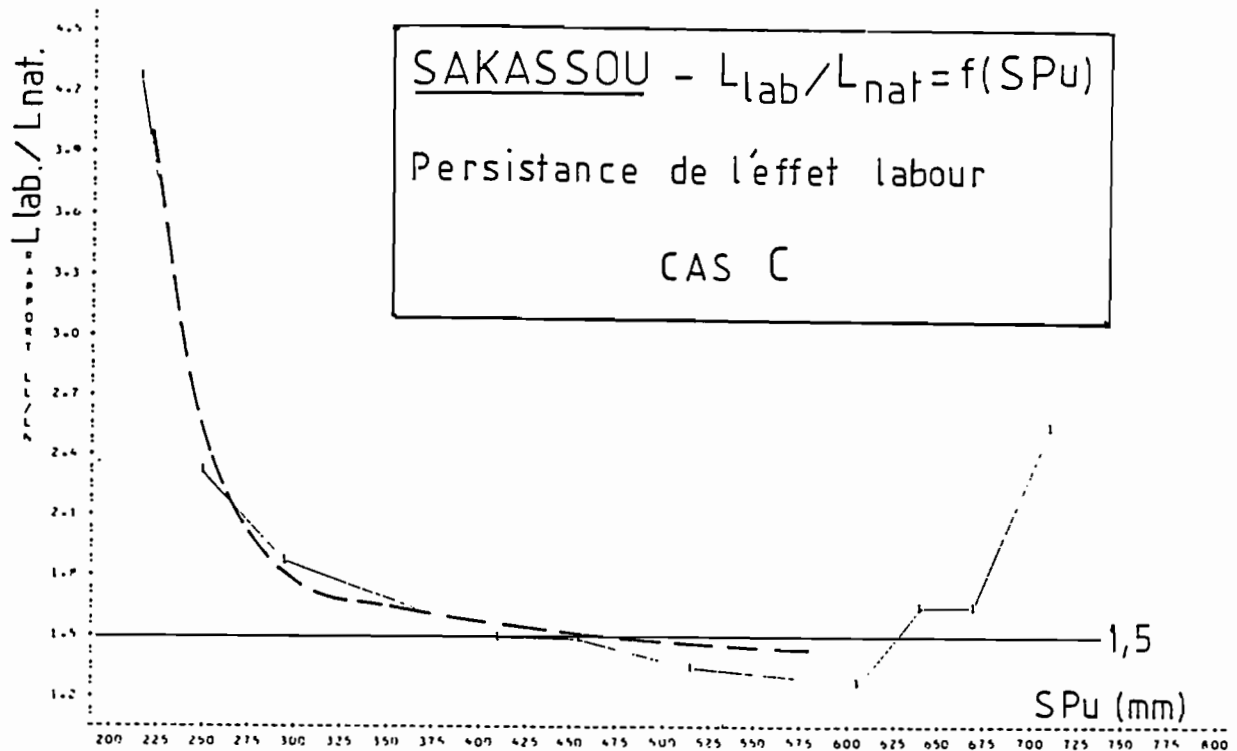


Fig. IV.24.: Analyse de la persistance de l'effet du labour, effet immédiatement néfaste et durable sur SAKASSOU 4.

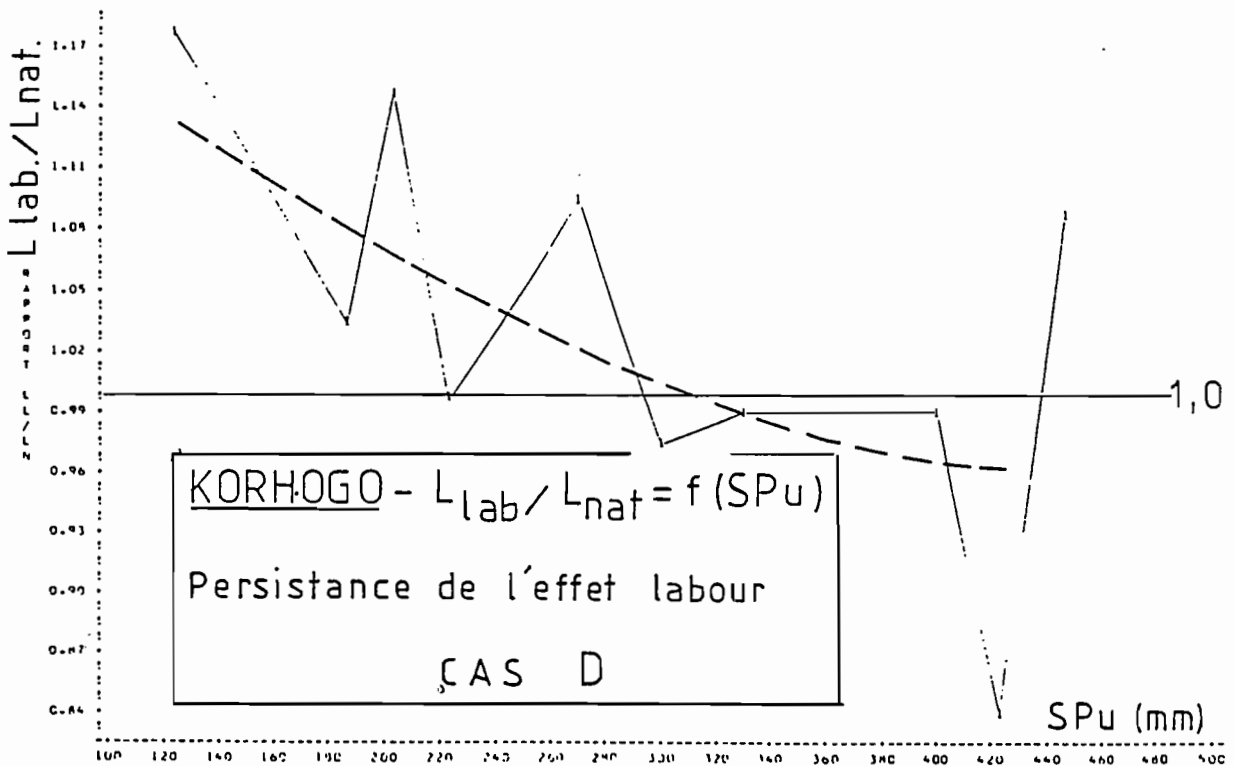


Fig. IV.25.: Analyse de la persistance de l'effet du labour, effet provisoirement néfaste sur KORHOGO 1.

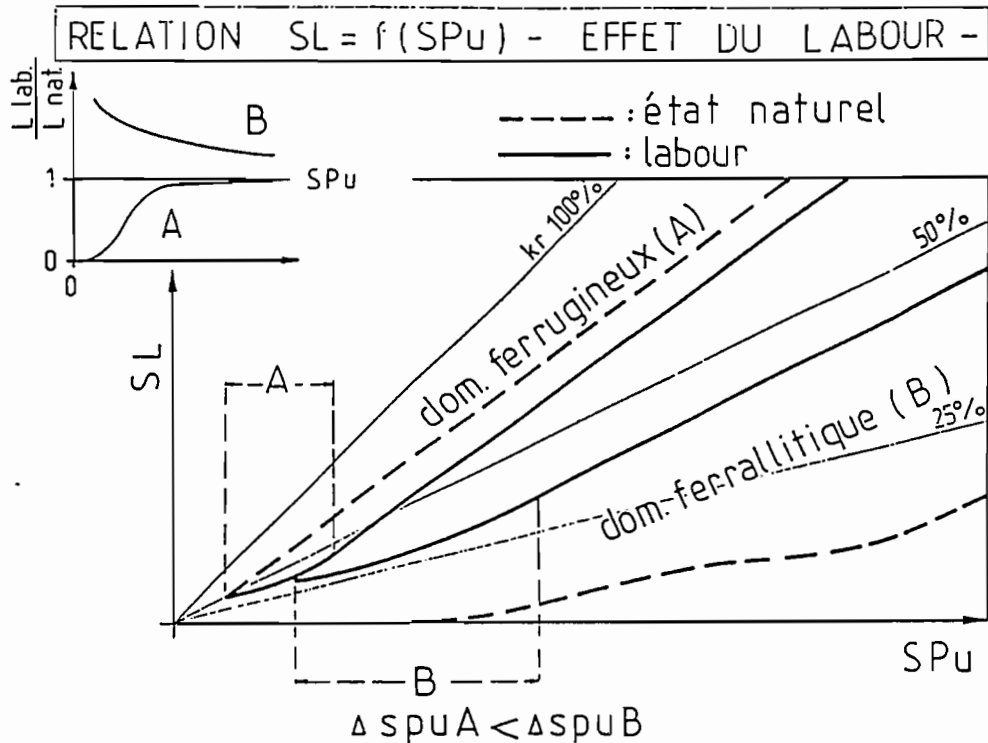


Fig. IV.26.: Résumé des effets hydrodynamiques des labours en domaines ferrugineux et ferrallitiques.

- L'amélioration apportée dans les **sols ferrugineux** est d'assez faible amplitude mais surtout l'effet résiduel du labour est de faible durée ; il est perçu sur le graphique par un petit décalage  $\Delta SPu$ , ensuite les pentes des deux droites tendent à devenir parallèles traduisant alors un régime unique d'infiltration,

- Dans les **sols ferrallitiques**, le décalage  $\Delta SPu$  est nettement plus important, car la macroporosité créée par le labour résiste plus longtemps que précédemment à l'énergie des pluies. Elle s'effondre cependant plus rapidement que ne se colmatent les porosités des horizons supérieurs de la même parcelle en son état naturel ; ceci se traduit, sur le graphique, par les deux types d'ajustement  $SL, SPu$  : curvilinéaire pendant les premières averses puis rectilinéaire sur labour, exclusivement curvilinéaire sur les parcelles naturelles pour les raisons évoquées dans le paragraphe précédent.

Bon nombre des essais se sont déroulés en saison sèche, donc les résultats, sur les sols en leur état naturel, s'identifient à des réactions consécutives aux premières averses de la saison des pluies tombant sur des sols à faible couvert végétal. On a cependant, à deux occasions, doublé les essais de saison sèche par une nouvelle intervention en saison des pluies sur les mêmes parcelles demeurées installées afin d'isoler les effets d'un couvert végétal plus dense.

### IX.1.3. Les effets des couverts végétaux

L'influence des couverts végétaux naturels ou cultivés sur le ruissellement est étudiée depuis de nombreuses années soit sur parcelles expérimentales soit au champ ou encore sur des modèles de laboratoire ; en Afrique de l'Ouest il s'agit des travaux de ROOSE (1977, 1980) ; COLLINET, LAFFORGUE (1979) ; PIOT, MILLOGO (1980) ; MARECHAL (1979) ; VALENTIN, FIGUEROA (1983) ; LAL (1984) ; COLLINET (1984) ; ROOSE, PIOT (1984) ; VALENTIN et al. (1986). En Afrique de l'Est, ce problème fut notamment abordé au Zimbabwe sur des batteries de parcelles recevant des précipitations naturelles et sous simulation de pluies : HUDSON (1957, 1961, 1963, 1964, 1973) ; ELWEL, WENDELAAR (1977) ; STOCKING, ELWEL (1976, 1981, 1982) ; STOCKING (1978). A Madagascar, il faut citer les travaux réalisés par le C.T.F.T. sur petits bassins versants de BAILLY et al. (1974), comparables à ceux Guyane (Projet ECEREX, 1983). Les études préliminaires proviennent des Etats-Unis avec MEYER et al. (1958), WISCHMEIER, SMITH (1978). Des modèles de laboratoire sont encore actuellement testés en Europe : PLOEY et al. (1976, 1980, 1984).

Ces différents travaux mettent en évidence deux effets principaux du couvert végétal :

- **interception de l'énergie des pluies** ; l'efficacité de la protection assurée par le couvert varie évidemment avec sa densité et son type de structure, l'efficacité maximale étant atteinte avec des structures horizontales denses et proches de la surface pour que cette végétation ne génère pas elle-même une énergie par collecte et nourrissage des gouttes de pluies ; cet effet joue donc surtout sur une modification de l'érosivité des averses.

- **ralentissement de la vitesse du ruissellement** à cause des obstacles constitués par les collets des végétaux érigés ou par d'autres parties rampantes ou couchées sur le sol, le temps de contact de la lame ruisselante avec le sol est prolongé pendant la période d'infiltration.

Deux essais réalisés en saison des pluies ont permis de tester sur SAKASSOU les effets d'un couvert herbacé de savane et sur TAÏ ceux d'une culture de riz pluvial à maturité.

#### IX.1.3.1. Couvert herbacé des savanes "humides" de SAKASSOU

La strate herbacée des savanes de SAKASSOU connaît son développement maximum en fin de saison des pluies (novembre), mais sa croissance est déjà bien avancée en mai lors de l'apparition des premiers écoulements dans les cours d'eau. Géographes et Botanistes donnent, pour cette époque, des taux de recouvrement du sol proche de 100 % (ADJANOHOON, 1964 ; HIERNAUX, 1973 ; SPICHIGER, 1975 ; PELTRE, 1977). En fait, cette estimation est le reflet d'une vision aérienne d'un couvert à 80 % graminéen,, atteignant 2,0 à 2,5 m de hauteur (*Hyparrhenia*, *Andropogon* des savanes préforestières à *Loudetia simplex*). En se rapprochant de la surface du sol, on constate que les gaines de ces différentes espèces ne forment pas un réseau continu mais qu'elles se regroupent en touffes espacées de 30 à 50 cm laissant des proportions importantes de sol à nu.

Les différences de comportement consécutives au développement du couvert herbacé apparaissent en comparant les faisceaux de droites illustrant les relations  $SL = f(SPu)$  sur la figure IV.27.

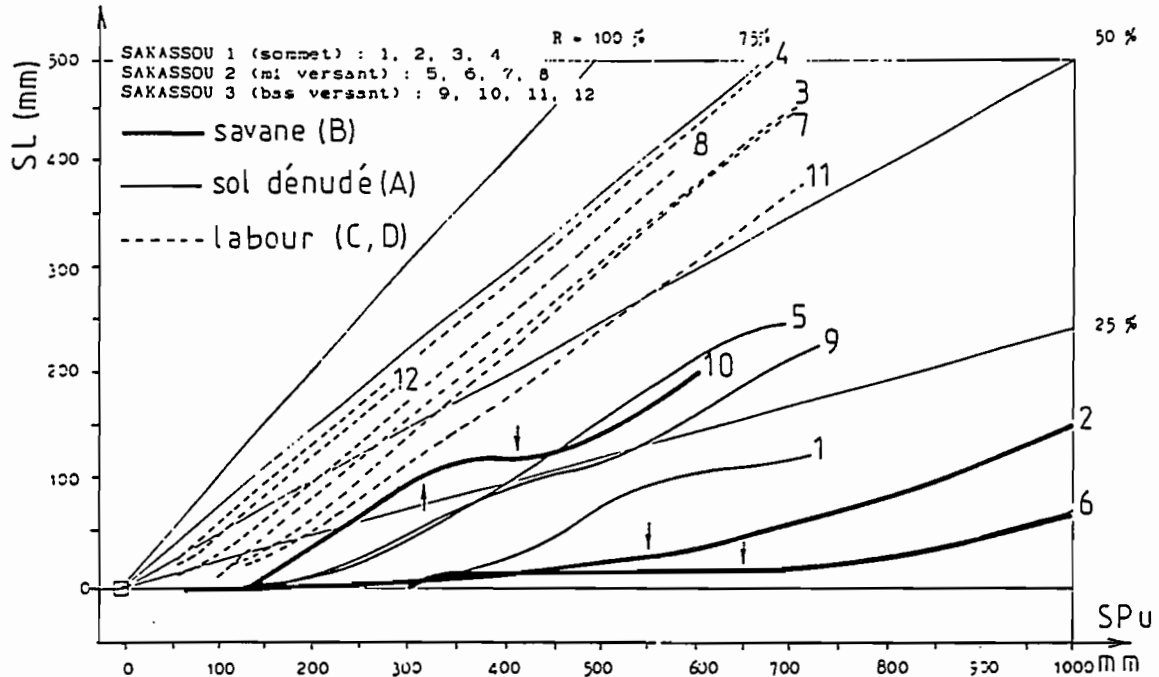


Fig. IV.27.: Effets du couvert végétal sur les lames ruisselées cumulées en zone guinéenne mésophile (SAKASSOU).

Ces comparaisons concernent les situations expérimentales suivantes :

A : sols secs dénudés après les brûlis de saison sèche avec les droites n° 1, 5, 9 de SAKASSOU 1, 2, 3 (sommet jusqu'à l'aval),

B : sols ressuyés, enherbés en saison des pluies avec les droites n° 2, 6, 10 correspondant à la même succession des sols,

C : sols labourés en saison sèche (droites 3, 7, 11),

D : sols labourés en saison des pluies (droites 4, 8, 12).

L'analyse de ces graphiques nous renseignent sur :

- l'effet du couvert sur la durée de la phase d'imbibition,
- l'évolution ultérieure du régime de ruissellement.

La comparaison portant sur les situations A et B et concernant les différences de hauteurs de pluies d'imbibition de la (ou des) première(s) averse(s) avant l'apparition du ruissellement ( $\Delta P_i$ ), doit tenir compte d'une correction d'humidité entre la situation A de saison sèche et B de saison des

pluies pour isoler strictement l'influence du couvert. Cette correction est faite en évaluant les " $\Delta P_i$  lab." qui sont les différences de pluies d'imbibition des situations C (labour en sec) et D (labour en humide). L'observation des droites (en pointillé) 3 et 4 (SAKASSOU 1), 7 et 8 (SAKASSOU 2), 11 et 12 (SAKASSOU 3) montre des évolutions qui ne dépendent que des ordonnées à l'origine, donc des états antérieurs d'humidité, les pentes, donc les régimes, restant ensuite rigoureusement parallèles ; ce terme " $\Delta P_i$  lab." fournit une bonne évaluation de la correction à effectuer. Le tableau XL regroupe les différents éléments de cette comparaison.

=====

**TABEAU XL**  
SAKASSOU - Effet du couvert végétal sur  
la phase d'imbibition

SITES 1	SITUATIONS 2	Pi nc. 3	Pi lab. 4	$\Delta P_i$ lab. 5	$\Delta P_i$ c. 6
SAKASSOU 1 haut versant	sec 15 % couv. ress. 100 % couv.	114,5 101,4	44,5 8,1	- 36,5 (- 81,8 %)	+ 70,0
SAKASSOU 2 mi-versant	sec 15 % couv. ress. 100 % couv.	117,0 164,7	48,6 38,8	- 9,8 (- 20,2 %)	+ 80,6
SAKASSOU 3 bas versant	sec 15 % couv. ress. 100 % couv.	194,5 107,0	86,4 20,0	- 65,5 (- 75,9 %)	- 6,3

**Légende**

Colonne 3 :  $P_i$  nc. = pluie d'imbibition non corrigée sur sol sec et sur sol ressuyé (mm),  
Colonne 4 :  $P_i$  lab. = pluie d'imbibition sur labour en sec et en humide (mm),  
Colonne 5 :  $\Delta P_i$  lab. = différence de hauteur de pluies d'imbibition sur labour en fonction de l'humidité (en mm et en %)  
Colonne 6 :  $\Delta P_i$  c. = différences de hauteurs de pluies d'imbibition liées au couvert végétal après corrections dues aux différences d'humidité (en mm).

=====

Le couvert herbacé allonge nettement la phase d'imbibition sur les sols ferrallitiques du versant ; son effet devient par contre négligeable sur les sols hydromorphes de bas de versant car l'engorgement y est important en saison des pluies.

L'évolution ultérieure des lames ruisselées en saison humide montre des variations de régime aussi importantes que celles qui avaient été identifiées en saison sèche, ce qui explique les ajustements curvilinéaires complexes. On note une série d'inflexions positives et négatives qu'il est intéressant de relier aux caractéristiques physiques des horizons de profondeur, rapidement atteints par les flux sur les sols profondément humides de saison des pluies.

Pour ce faire, on repère les hauteurs de lames infiltrées cumulées (SW) correspondant aux valeurs de SPU signalant un changement de régime. Les lames infiltrées sont ensuite corrigées par les lames d'évapotranspiration réelles cumulées jusqu'à l'instant correspondant aux valeurs de SPU. Cette nouvelle valeur de SW est transformée en profondeur de sol humidifié en tenant

compte des capacités hydriques déterminées dans la seconde partie. On compare alors cette profondeur avec les caractéristiques morphologiques et porales du profil.

Les différents éléments de cette analyse se calculent en considérant les points d'inflexion marqués par une flèche sur les graphiques :

- SAKASSOU 1 : inflexion positive à 550 mm de SPu,
- SAKASSOU 2 : inflexion positive à 650 mm de SPu,
- SAKASSOU 3 : inflexion négative à 320 mm de SPu et positive à 420 mm de Spu.

Ces inflexions sont repérées par des flèches sur les droites 2, 6 et 10 de la figure IV.27.

**TABEAU XLI**

SAKASSOU - Sols de saison des pluies : relations entre les modifications des régimes d'humectation et les caractéristiques des horizons de profondeur.

SITES	INFL. 1	SPu 2	SL 3	SW 4	ETR 5	SW c. 6	PROF. 7	CONTRAINTE 8
SAKASSOU 1	+	550 (553)	23	529	34	496	135	transit, avec tache
SAKASSOU 2	+	650 (665)	13	652	31	621	155	transit, avec carapace
SAKASSOU 3	-	320 (311)	103	208	6	202	45	transit, text, dans A2 et
	+	420 (421)	128	293	15	278	65	charge hydrau, nappe

**Légende**

Colonne 1 : sens de l'inflexion,

Colonne 2 : hauteurs de pluies cumulées (mm) correspondant aux inflexions et (--) hauteurs des pluies les plus proches sur le protocole expérimental,

Colonne 3 : lames ruisselées cumulées correspondantes,

Colonne 4 : lames infiltrées cumulées correspondantes,

Colonne 5 : évapotranspirations réelles cumulées (TURC) compte tenu d'une ETR voisine de 3,0 mm/jour,

Colonne 6 : lames infiltrées cumulées corrigées compte tenu des ETR, pro-

Colonne 7 : fondeur de sol (cm) correspondant à SW c saturant la porosité totale (cf. deuxième partie),

Colonne 8 : contraintes pédologiques à l'origine des modifications du régime hydrique (cf. deuxième partie)

Il est remarquable de constater, sur le tableau XLI, que les différentes profondeurs de modification de régime calculées correspondent exactement à des différenciations pédologiques notoires dont on avait supposé



les effets sur l'hydrodynamique dans la deuxième partie de cette étude (SW # SWc):

- sur SAKASSOU 1, l'inflexion positive de la droite 2 est expliquée par l'apparition d'un horizon d'argile tachetée de plus faible conductivité,

- sur SAKASSOU 2, l'inflexion positive de la droite 6 est la conséquence de la rencontre du flux avec la carapace indurée à la base du profil meuble,

- sur SAKASSOU 3, l'inflexion négative signale l'arrivée du flux au niveau de l'interface constitué par la transition entre les horizons A21 et A22 g dont les textures sont sensiblement différentes ; l'inflexion positive correspond à un engorgement de nappe dans les horizons A23, g et Cg, cette nappe est d'ailleurs à l'origine du liseré de taches d'oxydation ferrugineuse, signalé dans la seconde partie, à la base de l'horizon A 22, soit à - 70 cm.

Si l'on compare maintenant les comportements des mêmes sols, **en saison sèche et en saison des pluies**, on constate, sur les sols ferrallitiques drainés des versants, que les hauteurs S<sub>Pu</sub> marquant les inflexions sont identiques pour les deux saisons (comparaison des droites 1 et 2 - 5 et 6 de la figure IV.27), mais que ces inflexions sont de sens contraire. Cette observation est conforme au schéma présenté dans le chapitre IX.1.1. et expliquant la redistribution de l'eau saturante dans des sols d'humidité préalable différente et présentant une différenciation imposant des changements de diamètre de porosités :

- dans le sol **humide**, la conductivité est influencée, aux limites d'horizons, par les seules modifications des diamètres des pores dont toutes les parois sont humectées,

- dans un sol **initialement sec**, ou à humidité hygroscopique, à cet effet de diamètre des capillaires s'ajoute l'effet de dessiccation du milieu atteint par le front d'humectation, en effet le potentiel de charge hydraulique nécessaire au franchissement des limites d'horizons est sensiblement plus important en saison sèche qu'en saison humide et, à une inflexion positive de saison des pluies, correspond une inflexion négative en saison sèche parce que le potentiel gravitaire l'emporte momentanément sur l'effet du potentiel matriciel.

En outre, l'infiltration reste plus faible en saison sèche, ce qui se repère par les différences de pente des droites avant les zones d'inflexion, à cause d'une **plus forte résistance hydraulique de la surface dénudée** par rapport à la même surface enherbée. Cette dernière favorise la réouverture de porosités et ce :

- de façon directe par le développement d'un système racinaire vivant,

- de façon indirecte en favorisant l'activité de la faune du sol (substrat alimentaire, température et humidité plus proches de l'optima).

### IX.1.3.2. Couvert de riz pluvial sur la défriche forestière de TAÏ

Pour des raisons techniques évidentes, il n'est pas possible de montrer les effets d'un couvert forestier naturel sur les intensités du ruissellement. On peut, par contre, évaluer les effets de l'adjonction d'un couvert de riz pluvial sur un sol de défriche forestière récente. Il s'agit effectivement d'une "adjonction" car la situation initiale ne correspond pas à un sol quasiment dénudé comme en savane mais à un sol encombré par de multiples débris végétaux posés sur le sol, ou accumulés au-dessus du sol et qui contient, par ailleurs, la quasi-totalité du système racinaire de l'ancienne forêt.

L'étude, dans le chapitre VIII, des hydrogrammes de ruissellement provenant de deux **averses** aboutissait à la conclusion d'un effet faible de ce couvert supplémentaire sur l'évolution du ruissellement ; que devient cette analyse lorsque l'on considère, cette fois, la **totalité des averses** ?

En se limitant à une hauteur SPU fournissant une érosivité cumulée de  $500 \text{ joules/m}^2 \times \text{mm}$ , on constate (figure IV.29) que les coefficients moyens de ruissellement (KR2) des deux parcelles de riz du même couple encadrent ceux obtenus sur défriche forestière non cultivée :

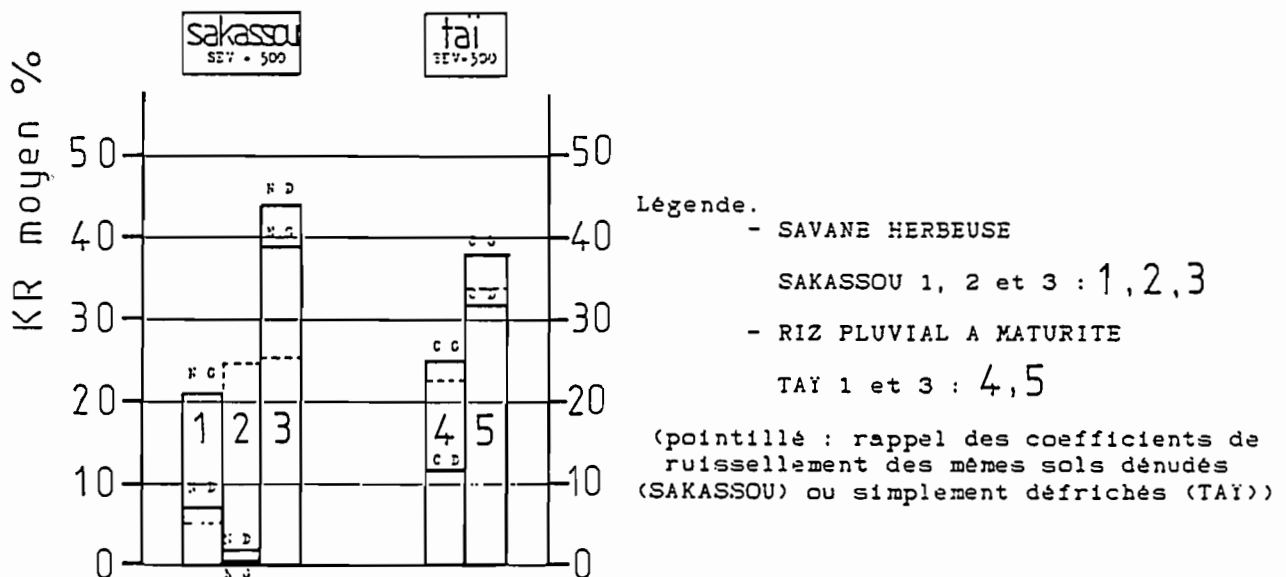


Fig. IV.29.: Histogramme des coefficients moyens du ruissellement des sols sous couverts végétaux (savanes de SAKASSOU et riz pluvial sur TAÏ).

- en sommet (TAÏ 1, histogramme 4), les hétérogénéités du sol entre la parcelle droite (CD) et la parcelle gauche (CG) séparées de 5 m sont à l'origine de plus grandes variations de coefficient (12 et 25 %) que celle résultant de la différence de couvert (23 et 25 % pour la parcelle gauche par exemple),

- il en va de même sur les sols du bas de versant (TAÏ 3, histogramme 5) où l'hétérogénéité du sol semble cependant moins importante (32 et 38 %).

L'analyse de l'évolution des lames ruisselées (figure IV.28.) peut être menée de la même façon que pour les sols de savane :

- effet du nouveau couvert de riz sur la phase d'imbibition (tableau XLII),
- évolutions ultérieures liées aux caractéristiques hydrodynamiques des sols.

TABLEAU XLII

TAï - Effet d'un couvert de riz pluvial sur l'apparition des premiers ruissellements.

SITES	SITUATIONS	Pi	$\Delta P_i$
TAï 1	sol ressuyé	15,1	
sommet	sur défriche		
			32,8
	sol ressuyé	47,9	
	défr. et riz		
TAï 3	sol ressuyé	13,7	
bas versant	sur défriche		
			2,4
	sol ressuyé	11,3	
	défr. et riz		

#### Légende

Pi = hauteur de la pluie d'imbibition (en millimètres),

$\Delta P_i$  = différence de hauteurs des pluies d'imbibition correspondant aux deux situations expérimentales.

Remarque : contrairement aux sols de savane de SAKASSOU, il n'y a pas lieu ici de corriger les hauteurs de Pi en fonction des humidités du sol aux deux périodes considérées.

Les effets de l'adjonction d'un couvert de riz pluvial sur un sol déjà encombré de débris végétaux provenant du défrichement sont faibles sur les sols argilo-gravillonnaires du sommet et insignifiants sur les sols sablo-argileux carapacés du bas de versant et ce, surtout en regard des conditions pluviométriques naturelles (P. moy. voisine de 2000 mm).

Comme pour SAKASSOU, au cours des essais, les flux d'infiltration occupent, en saison des pluies, les macroporosités de sols initialement ressuyés. Aussi toutes variations du régime de ruissellement détectées sur les graphiques traduisent-elles les variations des caractéristiques physiques des horizons de profondeur et des volumes poreux qui en résultent.

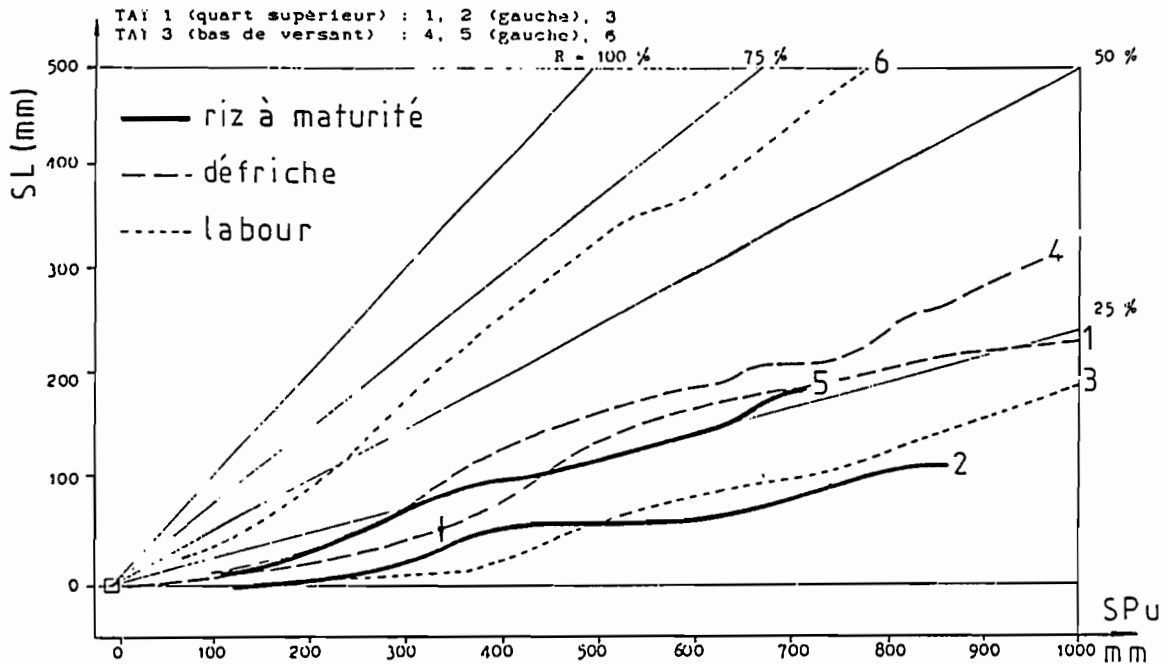


Fig. IV.28.: Effets du couvert végétal sur les lames ruisselées cumulées en zone guinéenne ombrophile (TAÏ).

Les évolutions des lames ruisselées sont aussi soulignées par quelques inflexions :

- sur TAÏ 1 : la parcelle droite (CD) présente une inflexion positive nette à 620 mm de SPU, une portion sigmoïdale se dessine entre 320 et 360 mm sur la parcelle gauche (CG),

- sur TAÏ 3 : la parcelle droite présente une inflexion positive nette à 530 mm de SPU, par contre l'évolution de la parcelle gauche est plus régulière (tableau XLIII).

TABLEAU XLIII

TAÏ - Relations entre les modifications des régimes d'humectation et les caractéristiques des horizons de profondeurs

SITES	INFL	SPu	SL	SW	ETR	SW c.	Prof.	CONTRAINTES
	1	2	3	4	5	6	7	8
TAÏ 1 CG	+ et -	320 (323) 360	50	272	7	265	80	dimin. P.T. disparit. E.G. apparit. taches
	+ et -	620 (618) 780	113	505	25	480	135	argiles tachetées et altérées
TAÏ 1 CD	+	620 (613)	66	547	10	537	140	arg. tach. et altér.
TAÏ 3 CD	+	530 (528)	123	405	27	378	115	indurat. et compact.

### Légende

- Colonne 1 : sens de l'inflexion,  
 Colonne 2 : hauteurs des pluies cumulées (mm) correspondant aux inflexions et (--) hauteurs des pluies les plus proches sur le protocole,  
 Colonne 3 : lames ruisselées cumulées correspondantes,  
 Colonne 4 : lames infiltrées cumulées correspondantes,  
 Colonne 5 : évapotranspirations réelles cumulées (TURC) compte tenu d'une ETR # 3,6 mm/jour,  
 Colonne 6 : lames infiltrées cumulées corrigées compte tenu des ETR,  
 Colonne 7 : profondeur de sol (cm) correspondant à SW c. emplissant la Porosité Totale (cf. chapitre IV.7.2.),  
 Colonne 8 : contraintes pédologiques à l'origine des modifications du régime hydrique.
- =====

Les zones d'inflexion significatives sont parfois délicates à déceler sur TAÏ parce qu'il s'agit d'un milieu plus hétérogène que celui de savane : les cotes des horizons diagnostics repérées sur le profil décrit à côté des parcelles peuvent varier sur les 200 m<sup>2</sup> arrosés par les pluies simulées mais surtout, les pivots racinaires des arbres morts constituent des zones de drainage préférentiel. Ces différentes causes d'hétérogénéité se retrouvent intégrées au niveau de l'enregistrement graphique des intensités de ruissellement en aval des parcelles. Seules les discontinuités majeures ont ainsi pu être repérées ;

- sur TAÏ 1, il apparaît nettement un rétrécissement de la porosité totale vers 80 cm, soit à la base de l'horizon B21gr (cf. description en annexe) où s'atténue la charge en nodules ferrugineux et où apparaissent des manifestations d'hydromorphie ; il en est de même de l'interface de l'horizon B21gr avec B22 tacheté et altéritique,

- sur TAÏ 3, l'inflexion positive, signale, vers 115 cm, le début d'induration de l'horizon B22.

#### *IX.1.4. Les effets des traitements culturaux*

Les sols récemment cultivés de la géoséquence de GALMI ont subi les mêmes essais complets que les sols en leur état naturel et labourés à plat. On a, d'autre part, imité des techniques culturales traditionnelles sur POUNI, BATANGA, LOUMBILA et TAÏ, mais pour une seule averse.

On se propose ici d'étudier les répercussions de ces différentes techniques sur l'infiltration.

Sur GALMI, ces techniques consistent en un **billonnage manuel** dont une enquête (VALENTIN, 1980 ; COLLINET, VALENTIN, 1980) a permis de reconstituer le cycle des travaux préparant la culture du mil ou du sorgho.

Le semis (Chibka\*) est réalisé dans des petites cavités rapidement ouvertes à la houe (Sougouni\*) sur les sommets des billons de l'année précédente lorsque, à l'issue des premières pluies, le sol se trouve humecté sur

\* termes vernaculaires haoussa

5 à 10 cm, conditions généralement réalisée vers la fin avril. Un premier sarclage-billonnage (Noma\*) est effectué entre les 10 à 15 jours qui suivent le semis, les graines ayant alors levé.

Ce travail consiste à édifier à l'aide d'une binette (Kalmé\*) un billon à la place de l'interbillon de l'année précédente, donc au dépens de l'ancien billon entre les poquets de semis. En même temps, s'effectue une sélection des deux ou trois pieds les mieux venus par poquets. Un deuxième et ultime sarclage plus rapide est effectué pendant la montaison. D'après les paysans du pays Haoussa, cette technique favorise l'infiltration et permet d'éliminer les mauvaises herbes.

La récolte (Garbi\*) a lieu entre fin septembre et début octobre ; les épis murs sont coupés au couteau, mis à sécher au soleil 2 à 4 jours puis engrangés dans des silos aérés. La paille est récupérée plus tardivement et progressivement comme matériau de construction (clôture, toit), le bétail errant dans les champs consomme ensuite ce qui a pu rester sur place.

On constate que sur les sols sableux (Toudou\*) l'orientation des billons est aléatoire ; celle-ci est par contre strictement isohypse sur les sols argileux (Laka\*) sauf sur ceux des bourrelets de berges où l'orientation est perpendiculaire au cours d'eau. Il en résulte une mosaïque de champs de quelques ares délimités, sur les plateaux et les versants en sols meubles, par des murets de pierres sèches ou simplement par des alignements de blocs progressivement extraits du sol.

Compte tenu de l'irrégularité des premières précipitations, les semis doivent parfois être complétés ou recommencés 2 à 3 fois de suite.

Les rendements moyens en mil atteignent 500 kg/ha dans le sud Niger (pluviométrie moyenne annuelle proche de 500 mm à GALMI - 13°57' N), soit un peu plus que pour l'ensemble du pays (3 à 400 kg/ha) dont les zones septentrionales qui connaissent des conditions pluviométriques limites (pluviométrie moyenne annuelle proche de 385 mm à TAHOVA - 14°50' N).

Sur POUNI, BATANGA et LOUMBILA, les effets de deux techniques culturales ont été testés : le **buttage cloisonné** et le **paillage** d'un labour manuel à plat sur sols ressuyés.

Le buttage cloisonné est peu fréquent à la latitude de POUNI, il se pratique plus au sud surtout pour les plantes à tubercules. Il consiste en une levée de terre amassée en buttes équidistantes dans les deux directions, une cuvette est ensuite constituée dans les interbuttes par levée de quatre diguettes rayonnant à partir de l'axe d'une butte.

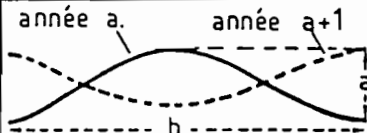
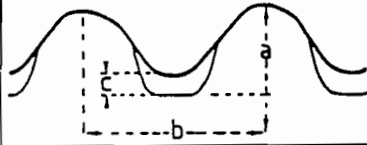
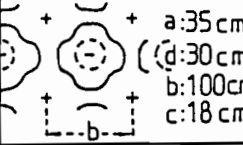
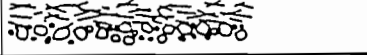
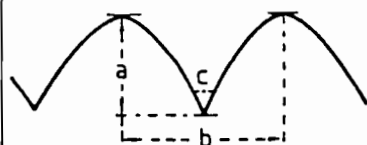
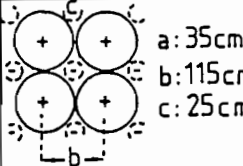
Le labour paillé ou mulché consiste en un labour effectué selon les normes précisées dans le chapitre IX.1.2., recouvert de débris de cultures, le plus souvent de chaumes de sorgho ou de mil à raison de 25 à 40 kg par parcelle soit 5 à 8 t/ha (la production de paille atteint 10 T/ha pour un rendement de 1000 kg/ha de sorgho) ; dans ces conditions, le sol est entièrement couvert de chaumes enchevêtrés sur 5 cm.

---

\* termes vernaculaires haoussa

Sur TAï, un **buttage simple** de type baoulé a été réalisé sur les sols de l'amont (TAï 1) et de l'aval (TAï 3) ; le travail s'effectue manuellement sur un sol débarrassé des plus gros débris végétaux y compris de la majorité des racines traçantes. La terre est levée en buttes tronc-coniques à flancs légèrement convexes. Les interbuttes sont constituées par les intersections de ces flancs et leurs alignements forment des sillons parallèles. La juxtaposition de 4 buttes voisines détermine une dépression dont la cote correspond à l'ancien niveau du sol non remanié.

Les dimensions de ces façons culturales sont portées sur la figure IV.30.

SITES	TYPES		DIMENSIONS
G ALMI	billons isohypses ou selon pente (haoussa)		anciens billons a: 10 à 15 cm b: 90 à 100 cm nouveaux billons a: 20 à 25 cm b: 90 à 100 cm
	buttes cloisonnées (mossi)		 a: 35 cm b: 100 cm c: 18 cm
LOUMBILA	labour-paille		paille: 5 à 8 t/ha
TAï	buttes simples (baoulé) (sénoufo)		 a: 35 cm b: 115 cm c: 25 cm

**Fig. IV.30.:** Caractéristiques des principales façons culturales.

Ces différents traitements visent à atteindre plusieurs objectifs dont certains sont d'ailleurs exprimés par les paysans des régions parcourues. Il s'agit d'ameublir le sol, d'extirper les adventices : les buttes et billons fournissent un plus grand volume de terre exploitable par les racines, les interbuttes et interbillons favorisent l'accumulation des eaux pluviales. Du point de vue hydrodynamique, les **conséquences théoriques** de ces techniques culturales présentent différents aspects que l'on peut analyser.

Elles amènent une **augmentation de la surface spécifique** de la parcelle cultivée par développement de sa rugosité. Cet effet est loin d'être négligeable, il peut être, dans le cas présent, quantifié de la façon suivante :

- sur les billons anciens, la section transversale peut être assimilée à une juxtaposition d'arc de cercle de 50 cm de corde et de 7,5 cm de flèche (soit 1/2 amplitude) ce qui donne entre la largeur projetée et la

largeur développée un coefficient correcteur de 1,026 et ramène la superficie de parcelle à 51,30 m<sup>2</sup> (soit + 2,6%),

- sur les billons récents le coefficient correcteur est de 1,044 soit une nouvelle superficie de 52,20 m<sup>2</sup> (soit + 4,4%),

- sur les buttes cloisonnées, en prenant une flèche moyenne d'une demi-amplitude soit 17,50 cm, le coefficient passe à 1,130 dans les deux dimensions et la superficie passe à 56,50 m<sup>2</sup> (soit + 13%),

- sur le buttage baoulé, le même calcul, appliqué cette fois à une flèche de 35,0 cm, donne un coefficient de 1,291 et une superficie de 64,53 m<sup>2</sup> (soit + 14,53 m<sup>2</sup> et + 29,1%).

Cette augmentation de la surface spécifique avec la rugosité ne peut être calculée que pour des façons culturales fractionnant le champ en figures géométriques. Celle résultant d'un simple labour est également importante mais elle est aussi plus difficile à évaluer.

Si l'on admet que les précipitations entretiennent un film humide continu et d'épaisseur constante, il n'y a pas lieu de corriger les coefficients de ruissellement puisque les hauteurs de pluie (par unité de surface développée) se trouvent réduites d'un coefficient identique à celui du rapport entre la surface projetée et la surface développée. Par contre, cette augmentation de surface spécifique modifie les angles d'impact des gouttes, augmente la surface de dissipation de l'énergie et contribue à limiter l'érosivité des pluies dans des proportions égales à celle des coefficients correcteurs précédents.

Un second aspect consiste en une **modification des régimes d'infiltration locaux** par amplification des hétérogénéités de surface. Dans les zones continuellement exondées, parce qu'en relief, les flux ne sont alimentés que par les eaux pluviales ; dans les zones déprimées, les infiltrations se font sous submersion avec des lames ruisselantes (ou stagnantes) plus ou moins épaisses. Si l'on admet, en début d'averse, une conductivité hydraulique homogène en tous points de la surface, on conçoit que les régimes d'infiltration subiront les influences de charges hydrauliques variables entre les points hauts et les points bas et que les profils des fronts d'humectation accentueront les ondulations de la surface. L'hypothèse d'une conductivité homogène ne tient cependant pas, à cause des modifications d'infiltrabilités liées aux évolutions de la microtopographie pour des hauteurs croissantes de précipitation : les colluvionnements locaux colmatent les dépressions, la battance des pluies colmate les porosités des points hauts et seules les parties intermédiaires pentues restent perméables par atténuation de l'énergie des gouttes (effet "cosinus" déjà évoqué dans le chapitre VIII).

**En résumé**, les effets des transformations microtopographiques d'un champ sur le ruissellement résulteront, **non pas** de l'extension de sa surface spécifique puisqu'il y a compensation des différentes lames d'eau entrant dans le bilan, **mais** des atténuations d'énergie consécutives aux inclinaisons de facettes de surface du sol remanié. Les conséquences sur l'érosion seront d'ailleurs identiques : pour une érosivité constante (caractéristique de l'averse), une érodibilité constante (caractéristique du sol en un instant donné), les érosions du champ cultivé pourront se trouver modifiées.



Analysons maintenant, aux travers des résultats expérimentaux, les conséquences réelles des façons culturales.

#### IX.1.4.1. Effets du billonnage sur GALMI.

a) Modification des coefficients moyens de ruissellement KR2.

Sur GALMI, ont été testés les comportements de sols anciennement et nouvellement billonnés et ce, pour deux orientations du billonnage (isohypse et selon la ligne de plus grande pente, ce qui sera désigné par le terme de "billons longitudinaux").

Les comparaisons sont établies par rapport aux mêmes sols ayant subi un labour de référence et sont limitées par des hauteurs de pluies générant des érosivités cumulées de  $500 \text{ joules/m}^2 \times \text{mm}$  (figure IV.31.).

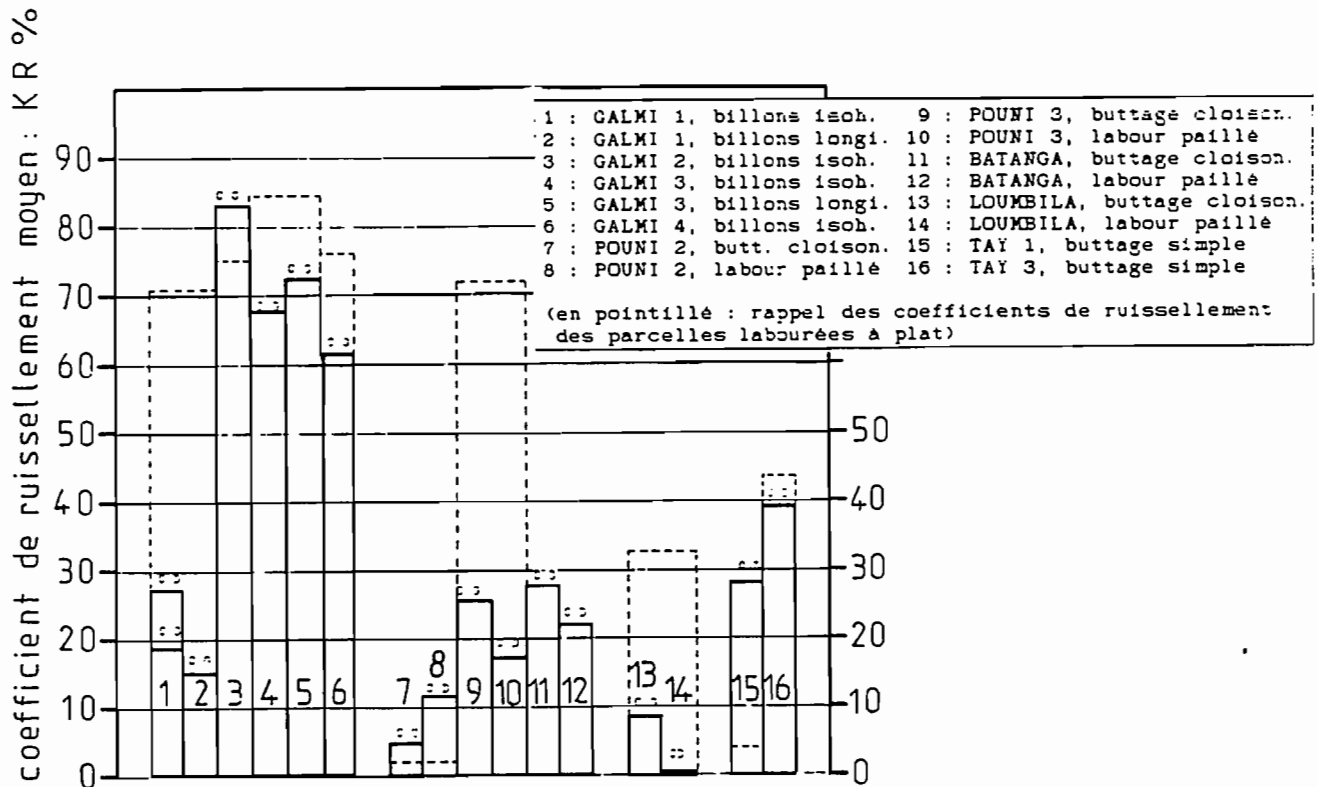


Fig. IV.31.: Histogramme des coefficients moyens du ruissellement de sols différemment cultivés.

Au total, le billonnage favorise l'infiltration dans 8 cas sur 11 mais ce, dans des proportions variables qui dépendent à la fois de l'inclinaison de la pente et de la texture des sols. Pour analyser plus précisément l'efficacité de cette technique, on a reporté sur le tableau XLIV les pourcentages de modification des coefficients moyens de ruissellement (KR2) entre parcelles anciennement billonnées et parcelles labourées à plat en rappelant les pentes et les textures des sols considérés.

TABLEAU XLIV

GALMI - Effet du billonnage sur les lames ruisselées cumulées (SEV = 500 joules/m<sup>2</sup> x mm), comparaison avec le labour à plat.

PARCELLES	SITUATIONS	KR2 lab.	ΔKR2 bill.	PENTE	TEXTURE
1	2	3	4	5	6
GALMI 12 CD	iso.		- 62	1,3	S
GALMI 12 CG	iso.		- 74	1,6	S
GALMI 13 CD*	lon.	71,3	0	0,9	S
GALMI 13 CG	lon.		- 79	0,9	S
GALMI 22 CD	iso.	74,8	+ 10	3,5	AS
GALMI 22 CG	iso.		+ 11	3,2	AS
GALMI 32 CD	iso.		- 7	2,8	S
GALMI 32 CG	iso.		- 20	2,8	S
GALMI 33 CD	lon.	84,6	- 10	2,6	S
GALMI 33 CG	lon.		- 14	3,2	S
GALMI 42 CD	iso.	75,9	- 19	2,7	AS
GALMI 42 CG	iso.		0	2,2	AS

## Légende

- 1 : GALMI 13 CD\* (parcelle droite)- non prise en compte car les interbillons recoupent les limites latérales de la parcelle, seule la parcelle gauche est correctement positionnée GALMI 13 CG.  
 2 : billons soit isohypses (iso.), soit selon la plus grande pente (lon.),  
 3 : coefficient moyen de ruissellement du labour à plat (%),  
 4 : pourcentage de modification des coefficients moyens de ruissellement des billons par rapport à ceux des labours à plat :  
 $\Delta KR2 \text{ bill. } \% = 100 \times (KR2 \text{ lab.} - KR2 \text{ bill.} / KR2 \text{ lab.})$ ,  
 5 : pente en %,  
 6 : texture des 20 premiers centimètres (S = sableuse, AS = argilo-sableuse)

L'effet du billonnage sur l'infiltration est très bénéfique sur les sols sableux du plateau (GALMI 1) et ce, quelle que soit son orientation. L'effet reste bénéfique quoique moins important sur les sols argilo-sableux du versant (GALMI 3), là encore, l'orientation des billons n'est pas déterminante. Sur les sols argilo-sableux à billons exclusivement isohypses, l'effet est négatif sur les plus fortes pentes du versant (GALMI 2), il ne redevient bénéfique qu'en fond de vallée peu pentu (GALMI 4).

On constate une parfaite adéquation des coutumes culturelles traditionnelles avec le comportement hydrodynamique des sols en fonction de la texture : l'orientation du billonnage n'est pas déterminante dans l'amélioration de l'infiltration des sols sableux et l'on constate que les gains d'infiltration des parcelles billonnées par rapport au labour à plat restent assurés jusqu'à

des pentes ne dépassant pas 3,3 %. Dans le paysage très anthropisé de GALMI, il apparaît que cette limite est respectée, ce qui élimine tous les sols du versant de raccord avec la corniche des grès ferruginisés. Cette limite est reportée à 3,0 % sur les sols argileux. Il ne fait aucun doute qu'à l'échelle d'un petit bassin versant, la mosaïque des champs billonnés contribue à améliorer l'infiltration ; aussi faut-il tenir compte de l'évolution des superficies cultivées et mises en jachère dans toute étude visant à prévoir les écoulements aux exutoires.

L'identité de comportement des deux orientations de billons sur les sols sableux peut paraître surprenante. Les observations de terrain pendant et après les averses montrent que les accumulations d'eau chargée dans les interbillons isohypses finissent toujours par trouver une brèche dans le billon aval, brèche qui a tendance à s'élargir rapidement par accélération de la vitesse du courant dans un seuil étroit.

Qu'en est-il des billons récemment levés ? Le tableau XLV présente une comparaison des coefficients de ruissellement relevés sur les billons anciens et nouveaux pour des érosivités de pluies voisines.

TABLEAU XLV

GALMI - Effet du billonnage sur les lames ruisselées, comparaisons portant sur l'ancienneté du billonnage.

PARCELLES 1	SITUATIONS 2	SEV 3	KR2 4	$\Delta$ KR2 pond. 5	PENTE 6	TEXTURE 7
GALMI 13 CD	anciens lon.	159	48,3	+ 25	0,9	S
GALMI 13 CD	nouv. lon.	127	51,4			
GALMI 22 CD	anciens iso.	112	84,7	- 19	3,5	AS
GALMI 22 CD	nouv. iso.	125	76,5			
GALMI 32 CD	anciens iso.	222	77,5	+ 21	2,8	S
GALMI 32 CD	nouv. iso.	190	84,0			
GALMI 33 CD	anciens lon.	215	75,6	0	2,6	S
GALMI 33 CD	nouv. lon.	238	83,5			
GALMI 42 CD	anciens iso.	213	75,5	- 9	2,7	AS
GALMI 42 CD	nouv. iso.	231	74,7			

#### Légende

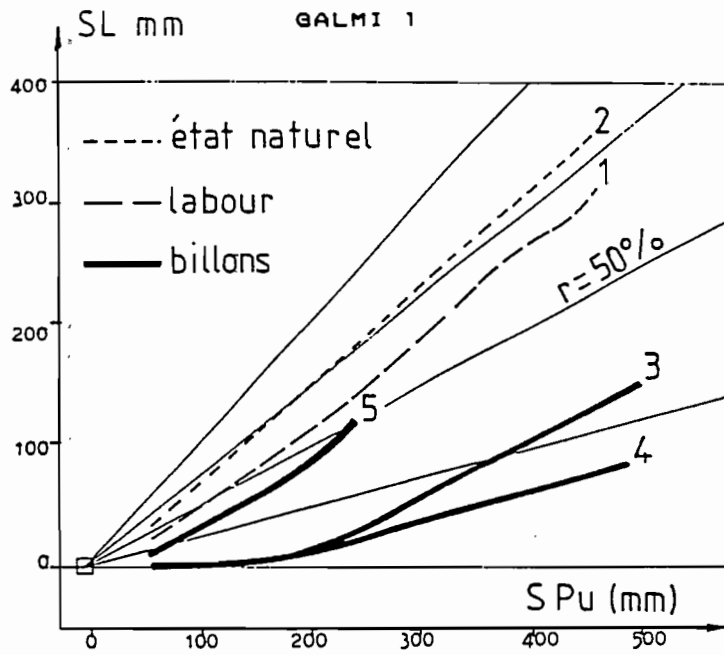
Colonne 2 : comparaisons de 2 situations - anciens billons de l'année précédente, billonnage selon la ligne de plus grande pente (anciens lon.) et billonnage isohypse (anciens iso.) - nouveaux billons sur des sols humides, ressuyés (nouv. lon. et nouv. iso.),

Colonne 3 : SEV = érosivités cumulées des pluies (joules/m<sup>2</sup> x mm)

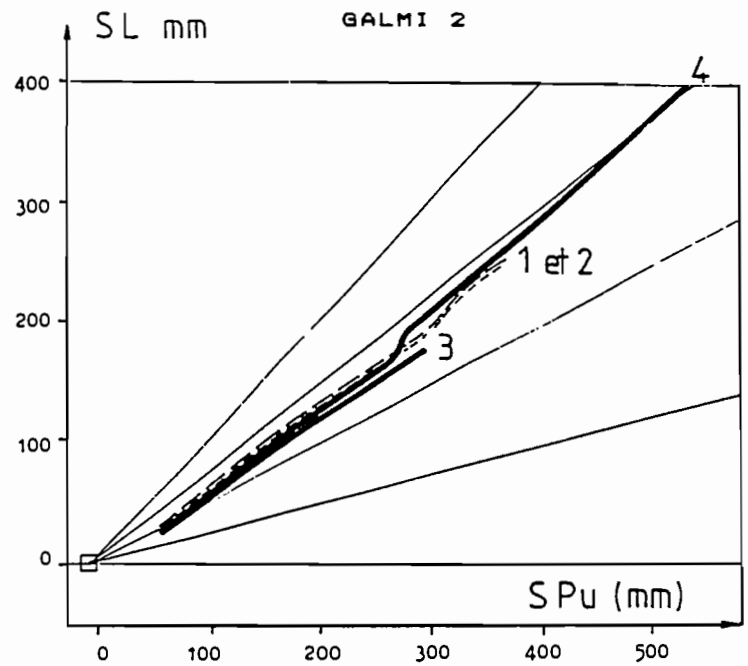
Colonne 4 : KR2 = coefficients moyens de ruissellement correspondant aux érosivités cumulées précédentes (%),

Colonne 5 :  $\Delta$ KR2 % pourcentage de modification des coefficients moyens de ruissellement des billons nouveaux par rapport aux anciens, pondéré par les différences d'érosivité soit :

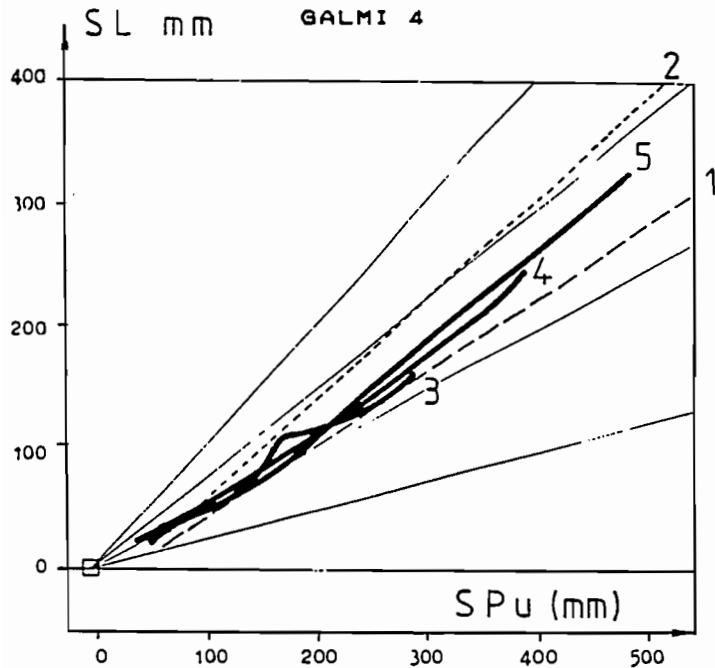
$$\Delta KR2 \% = 100 (KR2 \text{ anc.} / SEV \text{ anc.}) / (KR2 \text{ nouv.} / SEV \text{ nouv.})$$



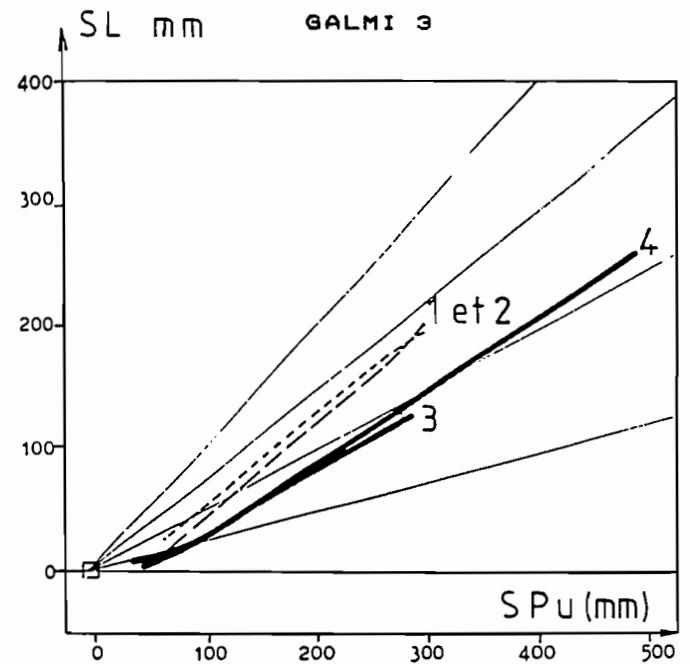
3 et 4 : billons isohypses, 5 : billons dans le sens de la pente, 1 et 2 : rappel des ruissellements sur labour et sol en son état naturel



3 et 4 : billons isohypses, 1 et 2 : rappel des ruissellements sur labour et état naturel.



3 et 4 : billons isohypses, 5 : billons dans le sens de la pente, 1 et 2 : rappel des ruissellements sur labour et sol en son état naturel



3 et 4 : billons isohypses, 1 et 2 : rappel des ruissellements sur labour et état naturel.

Fig. IV.32.: Effets du billonnage sur l'évolution des lames ruisselées cumulées des parcelles de GALMI.

Les nouveaux sarclages-billonnages sont effectués en fin de protocole sur les mêmes sols humides, ressuyés afin de se rapprocher des conditions naturelles de l'intervention. Par contre, la première averse tombe sur des sols secs anciennement billonnés.

On constate deux réactions opposées selon la texture des sols. Les infiltrations sont **améliorées** par ce nouveau traitement sur les sols **argilo-sableux plus ou moins vertiques** avec un effet maximum sur les **plus fortes pentes**. L'infiltration **diminue** par contre sur les sols **sableux nouvellement billonnés**. Cette différence s'explique par une meilleure cohésion des mottes humides des sols argilo-sableux; les caractéristiques hydrodynamiques des sols différemment traités se rejoindront cependant avec le cumul des averses avant qu'une protection puisse être assurée par le couvert végétal.

#### b) Evolution des lames ruisselées.

Sur les graphiques de la figure IV.32. les évolutions des régimes de ruissellement des sols billonnés sont comparées à celles des mêmes sols en leur état naturel ou labourés à plat. Deux types de comportement mettent en évidence l'influence prépondérante de la pente :

- les régimes sont nettement séparés sur les sols les moins pentus du plateau (GALMI 1) et, dans de moindres proportions, sur les sols de vallée (GALMI 4),
- les régimes sont pratiquement confondus sur les plus fortes pentes des sols du versant et ce, quelles que soient les textures (GALMI 2 et 3).

Sur les sols **sableux du plateau (GALMI 1)**, des gains d'infiltration importants se produisent pour environ 200 mm de pluies cumulées sur les sols billonnés, quelle que soit d'ailleurs l'orientation du billonnage. On note en effet des régimes de ruissellement **non stabilisés** avant 200 mm de pluies cumulées, puis stabilisés au-delà.

Les observations de terrain permettent de rendre compte de cette particularité sur les **billons isohypses** : lors des 4 premières averses, seule la partie aval de la parcelle contribue au ruissellement par des brèches ouvertes dans les 4 à 5 derniers billons transversaux. A l'amont, les lames d'eau détenues dans les interbillons s'infiltreront totalement pendant et après la fin de l'averse. Au-delà d'une hauteur de 200 mm de pluies cumulées on assiste à toute une série d'ouverture de seuils dans les billons amont dont une partie de l'eau détenue superficiellement déborde ; il est cependant difficile de voir si ces débordements sont dus à l'effondrement d'une partie de billon ou à une augmentation de la lame de rétention. Dès lors, la totalité de la parcelle ruisselle avec un débit constant malgré des temps de ressuyage variables et des intensités de pluies multiples. Un équilibre est atteint entre la conductivité moyenne sur 50 m<sup>2</sup> et la résistance hydraulique opposée par le billonnage.

Sur les **billons longitudinaux**, le ruissellement est canalisé d'emblée par les interbillons, aussi la convergence du comportement avec les billonnages isohypses peut-elle paraître surprenante : en fait, on observe pendant les averses les mêmes processus que précédemment avec un ruissellement d'abord

limité aux interbillons de la moitié aval de la parcelle. Ce n'est qu'au-delà des 200 mm de pluies cumulées que l'on assiste à une "remontée" progressive de la détention superficielle interbillon aussi la submersion des zones déprimées ne devient-elle quasi totale qu'en fin des essais. Le ruissellement de régime constant dépend de la résurgence d'un écoulement d'abord hypodermique puis superficiel gagnant progressivement l'amont. Ceci est lié à la saturation d'un réservoir poreux dont le plancher correspond à la dalle rocheuse des 50 cm dans le cas de GALMI 1.

Sur les plus fortes pentes de GALMI 2 et de GALMI 3, les ruptures de seuils des billons interviennent soudainement dès les premières averses comme le prouve un changement brutal de régime de ruissellement particulièrement net sur la droite n° 4 de GALMI 2. Pour ce qui concerne l'économie de l'eau, l'efficacité du billonnage, par rapport au labour à plat, s'estompe rapidement sur les sols sableux, ou disparaît complètement sur les sols argilo-sableux comme cela a été démontré précédemment.

#### IX.1.4.2. Effets d'autres techniques culturales

Il s'agit des nouvelles situations expérimentales suivantes :

- buttage cloisonné : POUNI 2 et 3, BATANGA 1, LOUMBILA 1,
- buttage simple : TAY 1 ET 3,
- labour à plat paillé : POUNI 2 et 3, BATANGA 1, LOUMBILA 1.

Le tableau XLVI présente les principaux résultats expérimentaux issus d'une seule averse intervenant sur des sols ressuyés.

=====

**TABLEAU XLVI**  
POUNI, BATANGA, LOUMBILA et TAY  
Effets du buttage et du paillage sur l'infiltration,  
comparaison avec un labour à plat.

SITES 1	SITUAT. 2	P <sub>1</sub> 3	F <sub>n</sub> 4	L 5	W 6	KR1 7	1C <sub>tm</sub> 8
POUNI 2	BC	12,8	58,9	0,3	99,7	0,3	0,03
	LP	16,5	51,4	4,5	95,5	4,5	0,06
	LR	6,8	58,8	1,9	98,1	1,9	0,01
POUNI 3	BC	20,1	25,4	21,3	78,7	21,3	0,06
	LP	20,5	33,9	14,3	85,0	14,3	0,12
	LR	15,5	20,0	25,0	75,0	25,0	0,20
BATANGA 1	BC	12,8	0,0	31,8	68,2	31,8	0,25
	LP	6,7	23,4	25,3	74,7	25,3	0,23
	LR	14,3	87,7	3,5	96,5	3,5	0,03
LOUMBILA 1	BC	8,7	51,2	6,6	93,4	6,6	0,01 et 0,02
	LP	6,4	62,2	0,5	99,5	0,5	0,01
	LR	3,0	29,2	34,3	65,7	34,3	0,24
TAY 1	BS	23,3	29,2	23,6	76,4	23,6	0,23
	LR	38,0	58,8	1,3	98,7	1,3	0,01
TAY 3	BS	17,7	15,7	51,1	48,9	51,1	0,27
	LR	3,5	26,1	38,1	61,8	38,1	0,27

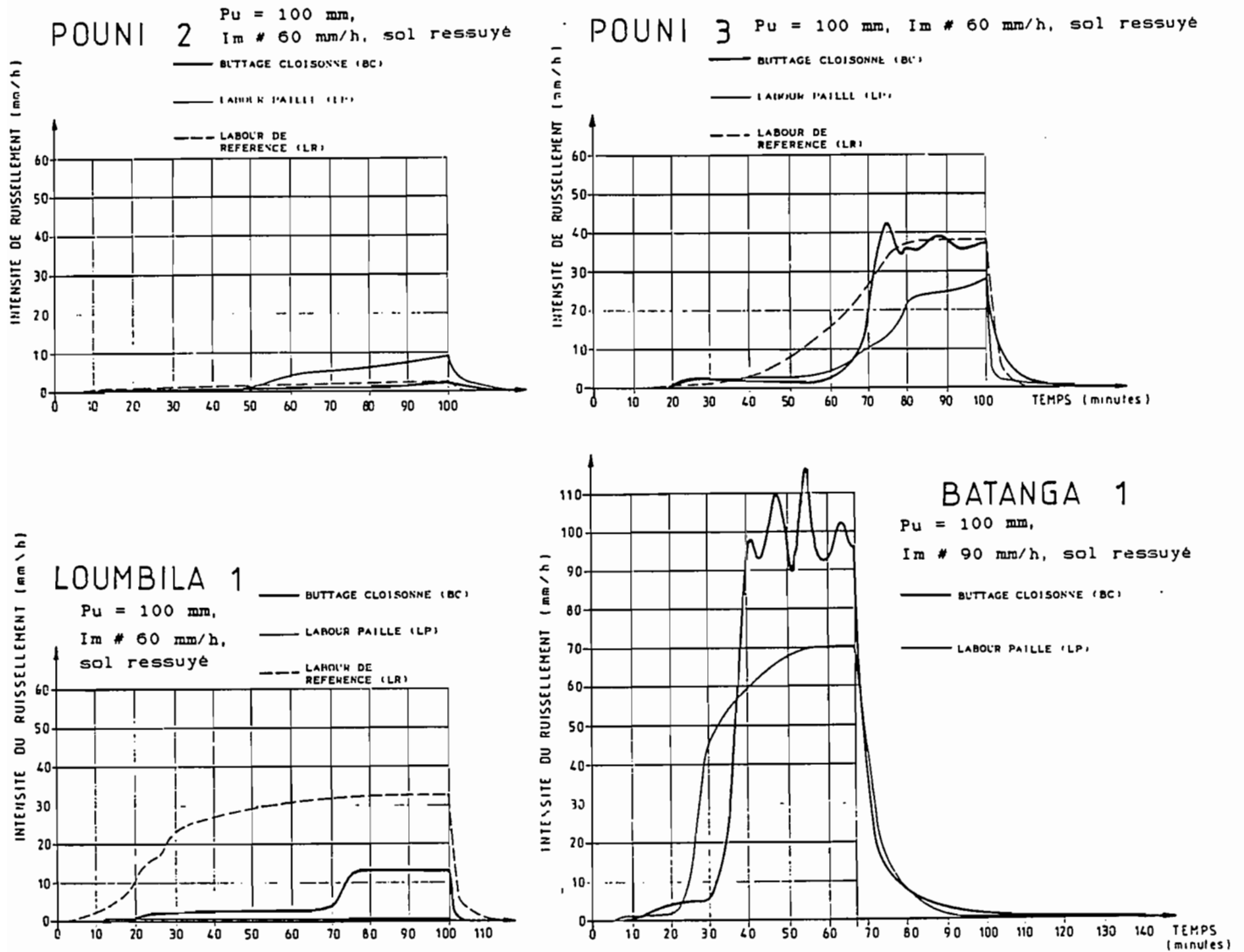


Fig. IV.33.: Effets du buttage cloisonné et du paillage sur les intensités du ruissellement de POUNI, BATANGA, LOUMBILA.

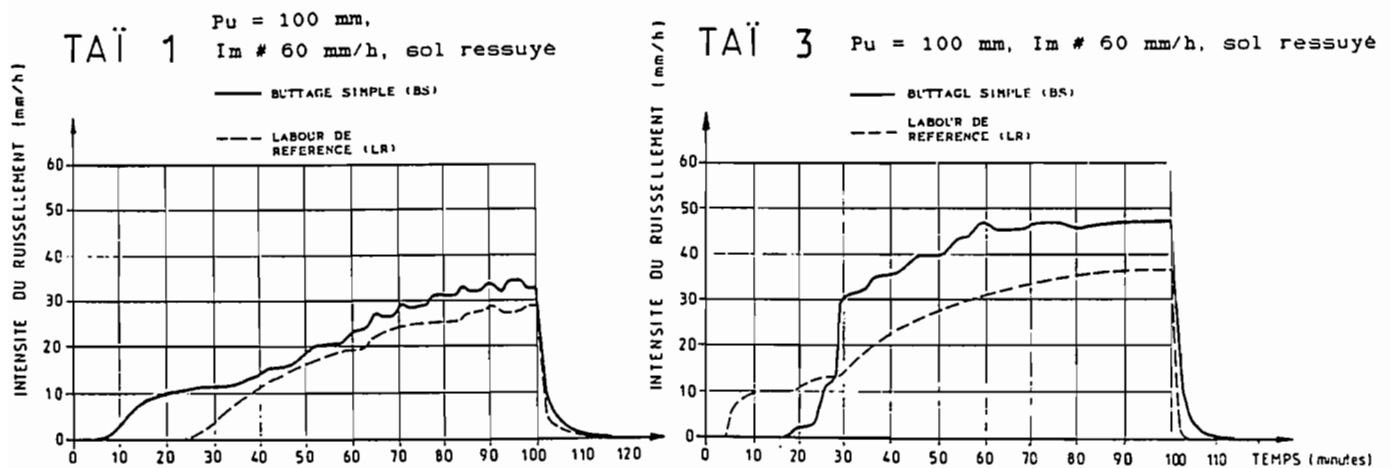


Fig. IV.34.: Effets du buttage simple sur les intensités du ruissellement de TAÏ 1 et TAÏ 3.

**Légende**

Colonne 2 : BC = buttes cloisonnées,  
 LP = labour paillé,  
 LR = labour à plat de référence,  
 BS = buttage simple  
 Colonne 3 : Pi = hauteur de la pluie d'imbibition (mm)  
 Colonne 4 : Fn = intensité minimale d'infiltration (mm/h)  
 Colonne 5 : L = lame ruisselée (mm),  
 Colonne 6 : W = lame infiltrée (mm),  
 Colonne 7 : Kr1 = coefficient de ruissellement de l'averse (%),  
 Colonne 8 :  $iC_{tm}$  = indice de compactage à l'instant "tm" (instauration du régime permanent du ruissellement) :

$$iC_{tm} = 1 - \frac{W_{tm}}{Pu_{tm}} \text{ avec...}$$

$$- W_{tm} = Pu_{tm} - L_{tm}$$

$$- Pu_{tm} = I \times t_m$$

$$- L_{tm} = \text{lame ruisselée à l'instant "tm"}.$$

Remarque : toutes données provenant d'hydrogrammes de ruissellement pour des averses de 100 mm à 60 mm/h d'intensité sur POUNI, LOUMBILA et TAÏ et à 90 mm/h sur BATANGA.

- **Buttage cloisonné** : son but est de favoriser l'infiltration en édifiant une multitude de petites retenues entre des buttes réunies par des diguettes divergeant dans quatre directions.

Si l'on compare son effet à celui d'un labour à plat, on s'aperçoit que le résultat espéré n'est atteint que sur POUNI 3 et LOUMBILA 1 (histogrammes 9 et 13 de la figure IV.31. Leurs hydrogrammes (figure IV.33.) montrent le détail de ces gains d'infiltration : sur LOUMBILA, il y a conjonction d'un allongement de Pi (exception faite des quelques ruissellements parasites de l'amont immédiat du canal) et d'une augmentation de Fn mais, sur POUNI 3, ces gains sont uniquement dus à l'allongement de Pi. Dans les deux cas, les diguettes "lâchent en cascades" pour 60 à 70 mm de Pu ; il se produit alors une augmentation brutale du ruissellement, conséquence des multiples déversements des retenues interbuttes.

Ce traitement n'apporte, par contre, aucune amélioration sur POUNI 2, ni sur BATANGA 1 (histogrammes 7 et 11 de la figure IV.31 et l'on constate même une diminution de Fn sur POUNI 2 pour une durée d'averse dépassant 100 mm à partir desquels s'accroît le colmatage des fonds de cuvettes interbuttes par des éléments provenant du lessivage des buttes gravillonnaires. Sur les sols vertiques argilo-limoneux de BATANGA, les gains de la phase d'imbibition sont largement perdus pendant la phase du régime permanent qui s'instaure très brutalement (hydrogramme de la figure IV.33). On remarque qu'à ce niveau, les intensités du ruissellement peuvent même dépasser les intensités de l'averse, ceci montre une limite du dispositif pour l'étude hydrodynamique des sols vertiques fissurés où parcelles et surface de garde communiquent.

Les indices de compactage ( $iC_{tm}$ ) reportés dans le tableau XLVI rendent parfaitement compte de ces deux types de comportement.

- **Buttage simple** : comme cela a déjà été précisé, il est effectué traditionnellement pour ameublir le sol et augmenter le volume de terre



explorable par le système racinaire mais, contrairement au cas précédent, sa structure fournit moins de sites permettant le stockage des eaux pluviales.

Son effet est **négatif** sur les sols ferrallitiques argileux et gravillonnaires de TAï 1 et quasiment **nul** sur les sols argilo-sableux de TAï 3 (histogrammes 15 et 16 de la figure IV.31.). Sur TAï 1, où la pente atteint 19,8%, le processus, détecté sur LOUMBILA pour de fortes précipitations, se manifeste plus tôt ici : le buttage amène un colmatage des porosités nécessairement plus important que sur un labour à plat car les apports locaux d'éléments fins sont multipliés par un coefficient correspondant aux rapports des superficies projetées et développées de la parcelle travaillée. L'effet de la pente intervient aussi et peut être expliqué par les observations de terrain pendant et après l'averse : le colmatage des interbuttes gagne progressivement l'amont de la parcelle à partir du canal de ruissellement qui se comporte comme un niveau de base artificiel. La remontée de ce "front" de colmatage ne se produit qu'au bout de 30 à 40 mm d'averse et ne dépasse pas les rangées de buttes du milieu (soit 4 à 5 rangées). Tout se déroule alors comme si seule la moitié aval participait au ruissellement et, au bilan, ce ruissellement est alimenté par :

- les refus d'infiltration aval,
- la résurgence des ruissellements hypodermiques amont.

L'hydrogramme de la figure IV.34. illustre bien cette évolution avec un pseudo-palier de quelque 10 mm/h entre 20 et 35 mm de pluies puis une nouvelle augmentation du régime de ruissellement jusqu'à un équilibre atteint vers 90 mm de pluies. On remarquera en outre les nombreuses microvariations d'intensité pendant le régime transitoire, elles enregistrent la progression hétérogène du colmatage liée à l'extrême rugosité de la parcelle.

Sur TAï 3, dont la pente n'atteint que 7,3 %, les quelque 15 mm supplémentaires infiltrés pendant la phase d'imbibition sont largement perdus pendant l'instauration du régime permanent où les infiltrations sont 1,5 à 2 fois plus faibles que sur le labour à plat. Le processus de colmatage des interbuttes résulte des mêmes multiples évolutions locales que précédemment, mais il est plus rapide, plus efficace et se généralise à l'ensemble de la parcelle pour deux raisons :

- la texture favorise une abrasion continue, car il ne peut se constituer ici de mulch gravillonnaire protecteur comme sur TAï 1,
- la pente est insuffisante pour évacuer les dépôts des interbuttes amont colmatant les porosités superficielles.

Dans les deux cas, les intensités d'infiltration en palier sont plus faibles que celles des parcelles labourées à plat : l'augmentation de la rugosité accentue le colmatage général de la parcelle malgré le maintien d'une plus forte perméabilité sur les flancs et sommets de butte.

- **Labour paillé** : le paillage (ou mulching) d'un labour à plat le protège de l'impact des gouttes de pluies donc atténue la composante "splash" de la turbidité. Il ralentit aussi la vitesse du courant de ruissellement par l'adjonction, en surface du sol, d'une multitude d'obstacles. A plus long terme, ses effets secondaires sont plus hypothétiques : il fournit un substrat alimentaire et limite l'évapotranspiration, donc favoriserait le développement

et l'activité d'une faune fousseuse, mais également ceux d'une faune et d'une flore prédatrices des cultures (larves d'insectes, nématodes, champignons) et déprécie ainsi l'état phytosanitaire du sol. Ce dernier aspect sort de l'objet de notre étude aussi nous limiterons-nous aux effets primaires.

Ce paillage est extrêmement intéressant sur POUNI 3 et LOUMBILA 1, sites qui réagissaient déjà favorablement au buttage cloisonné. Il devient par contre peu probant sur les sols argileux et gravillonnaires de POUNI 2 ainsi que sur les sols vertiques de BATANGA. Sur les sols des zones guinéennes, d'autres études basées sur la même méthode, ont prouvé sa très grande efficacité (LAFFORGUE, NAAH, ROOSE, 1976).

Son effet favorable s'explique facilement par l'atténuation de la désagrégation des mottes, le maintien des porosités résultant de l'ameublissement : deux conséquences qui allongent la phase d'imbibition (Pi) et augmentent Fn. Ceci apparaît à la comparaison des situations "LP" et "LR" dans le tableau XLVI mais encore plus nettement sur l'hydrogramme illustrant l'évolution des régimes de POUNI 3 (figure IV.33.), l'infiltration est même quasiment totale sur LOUMBILA 1.

Son effet est négatif sur les sols argileux, gravillonnaires de POUNI 2 parce que ce paillage ralentit le "lavage" des nodules ferrugineux donc limite la constitution du mulch gravillonnaire dont l'efficacité est déjà démontrée sur le labour non protégé. Ce paillage est également sans effet sur les sols vertiques de BATANGA où il favorise une fonte par sursaturation hydrique des mottes et une prise en masse de la totalité des horizons labourés, ce phénomène restant plus hétérogène et plus superficiel lorsque la désagrégation est la seule conséquence de l'impact des gouttes.

Au vu des résultats expérimentaux, cette technique est assez efficace dans l'amélioration de l'infiltration mais elle ne reste probante que pour une épaisseur de 5 à 10 cm de débris végétaux, aussi peut-on lui reprocher d'être irréaliste dans les zones tropicales sèches où elle mobilise 50 à 75 % des résidus de culture utilisables à d'autres fins.

#### *IX.1.5. Conclusion partielle*

Malgré son caractère globalisant, l'analyse des lames ruisselées est riche d'informations. Elle permet de dégager les faits suivants :

##### **Sols en leur état naturel**

- Il n'y a pas d'évolution latitudinale progressive du coefficient moyen de ruissellement. (KR2), celui-ci reste élevé depuis la zone sahélienne (OURS1 et GALMI) jusque dans la zone sub-soudanienne (KORHOGO) ce qui représente un transect Nord-Sud de quelque 600 km où KR2 oscille entre 60 et 75 %. Il chute ensuite brutalement jusqu'à environ 25 % dans les zones guinéennes mésophiles (SAKASSOU) et ombrophiles (TAÏ),

- On constate, dans les zones sèches, d'assez étonnantes convergences de comportements hydriques pour des sols morphologiquement et génétiquement très différents ; on peut, à cet effet, rappeler le cas du

regroupement de sols isohumiques sub-arides vertiques sur amphibolite (OURSI 2) et de sols ferrugineux tropicaux lessivés hydromorphes sur granite (OURSI 3),

- Les convergences ou divergences de comportement reçoivent un début d'explication en considérant les types d'ajustements des droites illustrant les relations liant les lames ruisselées cumulées aux pluies cumulées et alors deux réactions tranchées prédominent selon les zones climatiques:

- régimes de ruissellement (donc d'infiltration) devenant rapidement **constants** dans les zones sèches, où la conductivité hydraulique est contrôlée dès la surface par des organisations pelliculaires dont les caractéristiques feront l'objet d'analyses micromorphologiques (cinquième partie),

- régimes **variables** tout au long des séquences pluvieuses, enregistrant les modifications des caractéristiques porales des horizons profonds, dans les zones humides, car les conductivités superficielles sont plus élevées que celles des zones sèches,

- Deux types de sols échappent, par contre, à ce schéma et fournissent des **comportements azonaux** :

- ceux qui possèdent une forte charge superficielle en éléments **grossiers** (POUNI 2 p. ex.),

- ceux qui possèdent des caractères **vertiques** affirmés (BATANGA 1 p. ex.),

...leurs infiltrations restent importantes, soit parce qu'un mûlch gravillonnaire maintient de nombreux sites poreux en surface, soit parce qu'un réseau de fissures parcourt la surface du sol et reste ouvert suffisamment longtemps pour allonger la phase d'imbibition.

### Labour de référence

Il permet de compléter les informations précédentes car il supprime totalement les organisations structurales superficielles préexistantes et crée, dans les horizons qu'il remanie, des sites poreux. Il place donc, théoriquement, le sol dans des conditions optimales d'infiltrabilité. Son évolution ultérieure dément cependant, dans 75 % des cas, les améliorations espérées si l'on compare les évolutions des régimes avec celles des mêmes sols en leur état naturel. Pour ce faire, l'utilisation du rapport des lames ruisselées des deux types de situation (L lab. / L nat.) s'est révélée très instructive car elle a mis en évidence **deux catégories d'évolutions** calquées sur deux domaines pédologiques distincts :

- dans le **domaine ferrugineux**, et partiellement isohumique, le labour favorise l'infiltration mais son effet est fugace puisque les comportements deviennent identiques pour quelque 150 mm de pluies cumulées,

- dans le **domaine ferrallitique**, le labour est immédiatement néfaste avec des ruissellements plus importants dont les régimes ne se stabilisent que pour des hauteurs de pluies cumulées plus importantes que précédemment.

L'interprétation en est la suivante : dans le domaine ferrugineux se reconstitue rapidement sur labour des pellicules identiques à celles qui existent naturellement ; dans le domaine ferrallitique le labour amène l'apparition plus progressive de pellicules à faible conductivité et les différences de régime entre les deux situations sont essentiellement dues au fait que le labour entraînent des remaniements superficiels autrement plus importants en zone perhumide qu'en zone sèche ne serait-ce que par l'élimination du système racinaire traçant et la destruction des pores biotiques.

Cette zonation latitudinale des effets du labour connaît également les exceptions des sols gravillonnaires.

### Couvert végétal

Son effet n'a pu être testé qu'en zone guinéenne mésophile (savane humide). Il amène un **allongement de la phase d'imbibition**, ce qui peut être relié à une interception de l'énergie des pluies par les structures foliaires, au regain d'activité de la faune fouisseuse en saison des pluies et au développement du système racinaire fasciculé vivant. En **un point du versant**, les sols plus ou moins dénudés recevant les pluies orageuses du début de la saison humide ruisselleront le plus. Les infiltrations iront ensuite en s'améliorant avec le développement du couvert végétal. Sur **l'ensemble du versant**, les régimes dépendront des états de saturation des sols donc de leur différenciation toposéquentielle qui oriente les flux hydriques. On remarque par contre que les **intensités du ruissellement ne sont pas significativement modifiées** par l'augmentation de la densités des couverts. Le rôle de l'activité de la faune est prépondérant.

### Façons culturales

Parmi les différentes techniques dont les effets ont été testés, le **billonnage** constitue l'opération la plus intéressante pour augmenter l'infiltration et l'on constate que son orientation est moins déterminante que ce que l'on pourrait supposer, au moins pour les sols de texture sableuse. L'inclinaison de la pente diminue son effet bénéfique jusqu'à des valeurs qui se situent vers 3 ou 4 %, valeurs au-dessus desquelles les régimes redeviennent identiques à ceux de sols labourés à plat.

Les techniques de **buttage** permettent l'ameublissement du sol, l'extirpation des adventices et débris divers, elles augmentent la surface spécifique du champ donc le volume exploitable par les racines, et ce, dans des proportions non négligeables par rapport au labour à plat. Elles créent des dépressions retenant les eaux pluviales et allongent le cheminement du courant de ruissellement. Les conséquences hydrodynamiques sont : un **allongement de la phase d'imbibition**, par rétention de l'eau dans les dépressions interbuttes, et une **atténuation de la détachabilité locale**, par l'inclinaison des plans d'impact des gouttes de pluies sur les buttes. Théoriquement, le **colmatage** des zones déprimées par les éléments fins provenant du lessivage des buttes devrait être du même ordre de grandeur que celui d'un champ labouré à plat, puisqu'il y a compensation de l'augmentation des masses érodables liées à la rugosité par

une diminution de l'érosivité spécifique, autre conséquence de la rugosité du champ butté. Dans la pratique, il est apparu que l'efficacité du buttage était :

- totale, quelle que soit la durée de l'averse, dans 33 % des cas pour lesquels l'infiltration est améliorée tant par l'allongement de la pluie d'imbibition ( $P_i$ ) que par l'augmentation de l'intensité minimale d'infiltration ( $F_n$ ),

- douteuse, et fonction de la durée des pluies, sur POUNI 3, BATANGA 1 et TAÏ 3 où la seule amélioration de l'infiltration est due à l'allongement de  $P_i$ , et même, au contraire,  $F_n$  peut devenir inférieur à celui du labour à plat,

- nulle sur TAÏ où  $P_i$  et  $F_n$  sont immédiatement inférieurs à ceux du labour à plat, ce constat est lié à une dynamique de colmatage particulière due à la forte inclinaison de la pente.

Le paillage d'un labour vise à reconstituer les conditions de protection d'un couvert végétal naturel en les renforçant, puisque les débris végétaux sont posés sur le sol et diminuent dès lors la vitesse du courant de ruissellement. Pratiquement les deux effets escomptés d'interception ( $P_i$ ) et de décélération ( $P_i + F_n$ ) ont été constatés dans la majorité des cas sauf sur les sols vertiques de texture fine et de structure particulièrement instable (charge en magnésium) plus sujets à un effondrement par humectation que par effet splash. Cependant cette technique nécessite des quantités importantes de débris végétaux qui ne sont pas toujours disponibles au moins dans les zones tropicales sèches.



## CHAPITRE X

### LES EROSIONS GLOBALES

Comme pour l'étude des lames ruisselées, l'érosion peut également faire l'objet d'une analyse préliminaire visant à :

- dégager ses limites de variations à travers les domaines pédologiques, pour différentes situations expérimentales (état naturel, labour de référence, couvert végétal, façons culturales),
- identifier les paramètres du sol ou de son environnement à l'origine de ces variations,
- comparer nos résultats avec ceux obtenus dans la même zone selon d'autres méthodes.

Comme il s'agit d'un niveau d'analyses s'arrêtant aux comportements érosifs globaux, deux paramètres seront surtout utilisés : les masses de terre érodées et la charge solide, moyenne.

Les masses de terres érodées, soit unitaires et résultant de l'effet d'une seule averse (E), soit cumulées à l'issue de plusieurs averses (SE) se déduisent des enregistrements des variations du débit solide en fonction du temps (solidigramme).

Ces érosions sont le produit d'une charge solide (turbidité "CM" en g/l) par un débit de ruissellement (ou intensité "R" en mm/h.). Elles sont évidemment influencées par l'un ou l'autre terme de ce produit : un niveau d'érosion donné peut être la conséquence d'une faible mobilisation des éléments détachables du sol, ou **détachabilité**, et d'une forte intensité du ruissellement ou, réciproquement, de ruissellements faibles prenant en charge d'importantes quantités de particules détachées du sol mais ce, dans les limites coïncidant avec la compétence du courant.

Il est donc également important de chercher à mieux appréhender la susceptibilité du sol à fournir des éléments pris en charge par le courant de ruissellement. Une bonne approche de cette **détachabilité** est fournie par le calcul et le suivi des turbidités moyennes pondérées par les hauteurs des lames ruisselées d'averses individuelles ou cumulées;

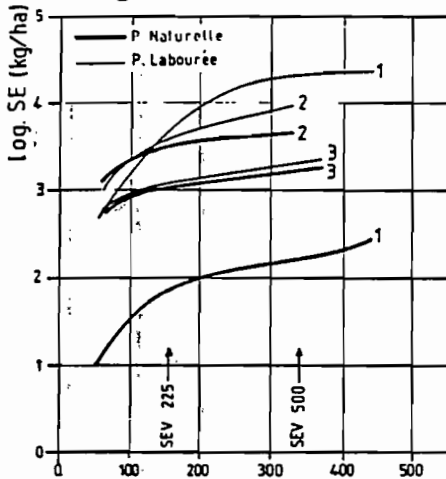
On déterminera ainsi

$$CM1 = \frac{E}{10L} \text{ (en grammes par litres) qui est la turbidité moyenne par averse unitaire,}$$

$$CM2 = \frac{SE}{10SL} \text{ (en grammes par litres) qui est la turbidité moyenne à l'issue d'une série d'averses.}$$

Fig. IV.35 à 41.: Evolution des érosions cumulées sur les différents sites.

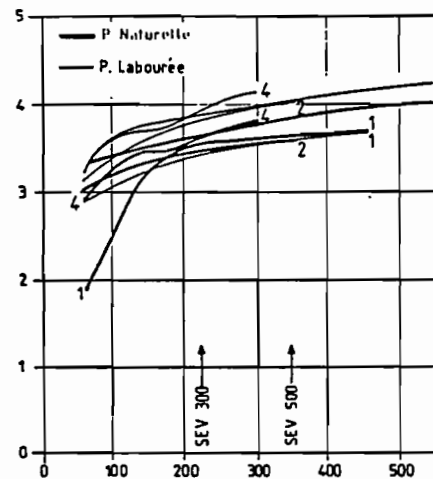
Fig. IV.35 : OURSI



1 2 3

T/ha, SEV 500, nat.: 0,1 5,4 1,7  
lab.: 20,1 10,3 1,9

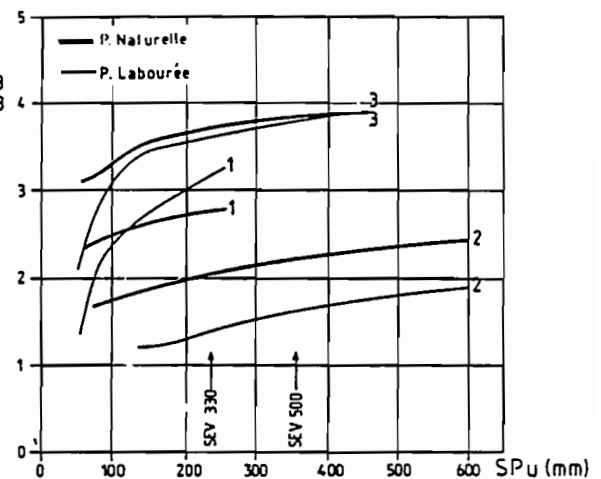
IV.36 : GALMI



1 2 3 4

nat.: 3,8 4,0 6,9 5,8  
lab.: 3,7 10,4 10,6 12,9

Fig. IV.37 : POUNI



1 2 3

nat.: - 0,2 6,6  
lab.: - 0,04 6,0

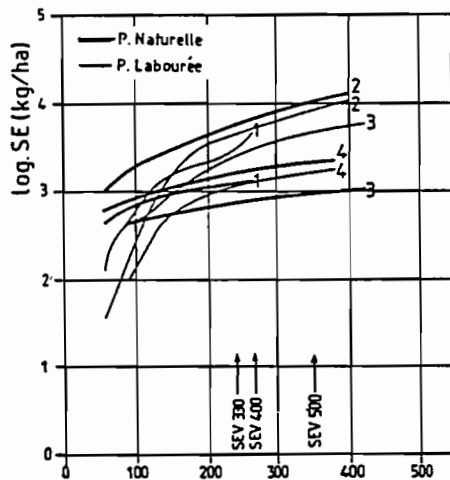
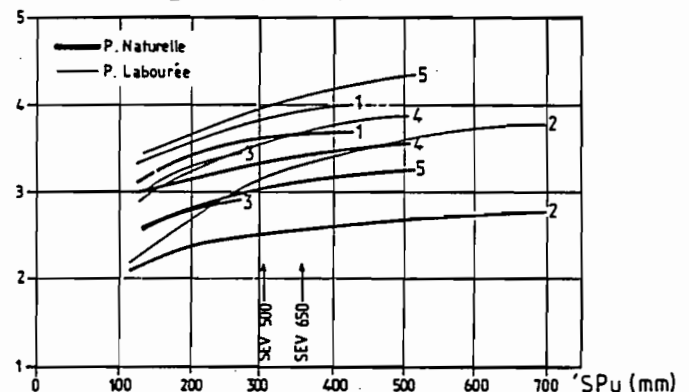


Fig. IV.38 : ST. PAUL BATANGA LOUMBILA

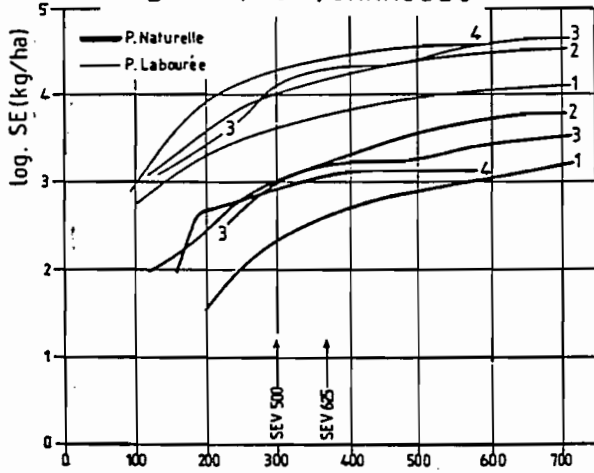
T/ha, SEV 500, nat.: 2,1 11,3 0,8 2,1 3,8 0,3 0,9 2,1 1,1 nat.  
lab.: 4,0 10,2 3,9 1,8 7,0 1,4 2,9 3,7 8,7 lab.

Fig. IV.39 : KORHOGO



1 2 3 4 5  
nat.: 2,1 3,8 0,3 0,9 2,1 1,1 nat.  
lab.: 1,8 7,0 1,4 2,9 3,7 8,7 lab.

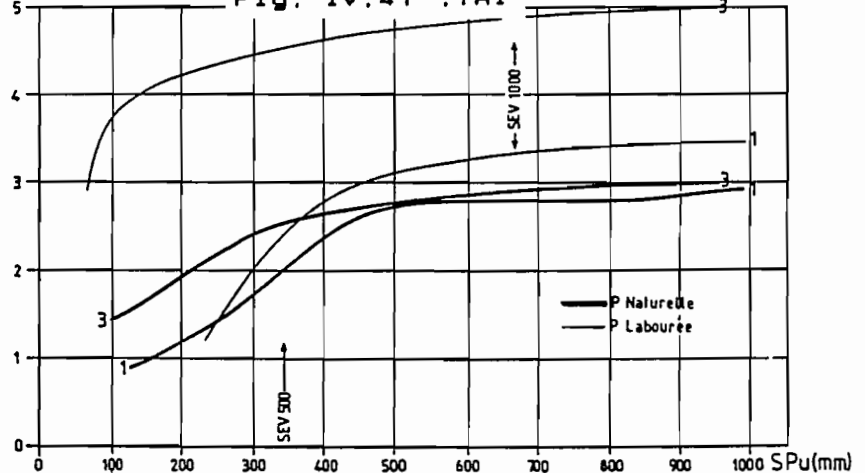
Fig. IV.40 : SAKASSOU



1 2 3 4

T/ha, SEV 500, nat.: 0,2 1,0 1,0 0,8  
lab.: 4,0 10,0 13,0 18,5

Fig. IV.41 : TAY



1 3

défriche.: 0,1 0,3  
lab.: 0,2 32,0



où L et SL représentent respectivement les lames ruisselées de l'averse unitaire ou des averses cumulées et E ou SE les érosions correspondantes en kilogrammes par hectare.

Dans le cas de régimes de ruissellement sensiblement constants ces valeurs CM1 ou CM2 fournissent des informations facilement utilisables sur les caractéristiques de détachabilité des sols mais elle **ne rendent pas compte des différentes composantes** intervenant lors d'une phase érosive telles que celles qui ont été détaillées dans le chapitre VIII.1.2.

Comme cette analyse se veut **comparative**, soit par domaine pédoclimatique, soit par situations expérimentales, on limitera les valeurs de SE ou CM2, à des **niveaux d'érosivités cumulées** (SEV) soit caractéristiques du domaine étudié, soit fixés à une valeur médiane de 500 joules/m<sup>2</sup> x mm. Dans le premier cas, les érosions obtenues expérimentalement représentent celles qui sont observées naturellement, dans le second cas, elles correspondent aux comportements de sols soumis à un même niveau d'agressivité des pluies.

Enfin, l'ensemble des résultats sera rapproché dans le chapitre XI de celui obtenu par les différents utilisateurs de l'"Equation universelle des pertes en terre" de WISCHMEIER et SMITH (1960) pour des situations similaires, occasion permettant de vérifier les limites d'utilisation de cette équation.

### ***X.1. L'érosion des sols en leur état naturel de fin de saison sèche***

L'évolution des pertes en terre peut être suivie, régions par régions, sur les graphiques des figures IV.35. à IV.41. (en gros traits), exprimant les **érosions cumulées en fonction des pluies cumulées**. Pour pouvoir regrouper sur le même graphique tous les cas de figure, on a utilisé un système de coordonnées semi-logarithmique :

$$\log. SE = f (SPu) \quad \text{avec SE en kg/ha et SPu en mm.}$$

La figure IV.42. résume ces comportements par domaines pédologiques sous la forme de courbes-enveloppes des différentes érosions, les premiers commentaires se rapporteront à cette dernière représentation.

#### ***X.1.1. Les niveaux d'érosion sont-ils liés aux domaines pédologiques ?***

Les valeurs limites des érosions représentées sur la figure IV.42. proviennent de sites représentatifs des domaines pédologiques suivants :

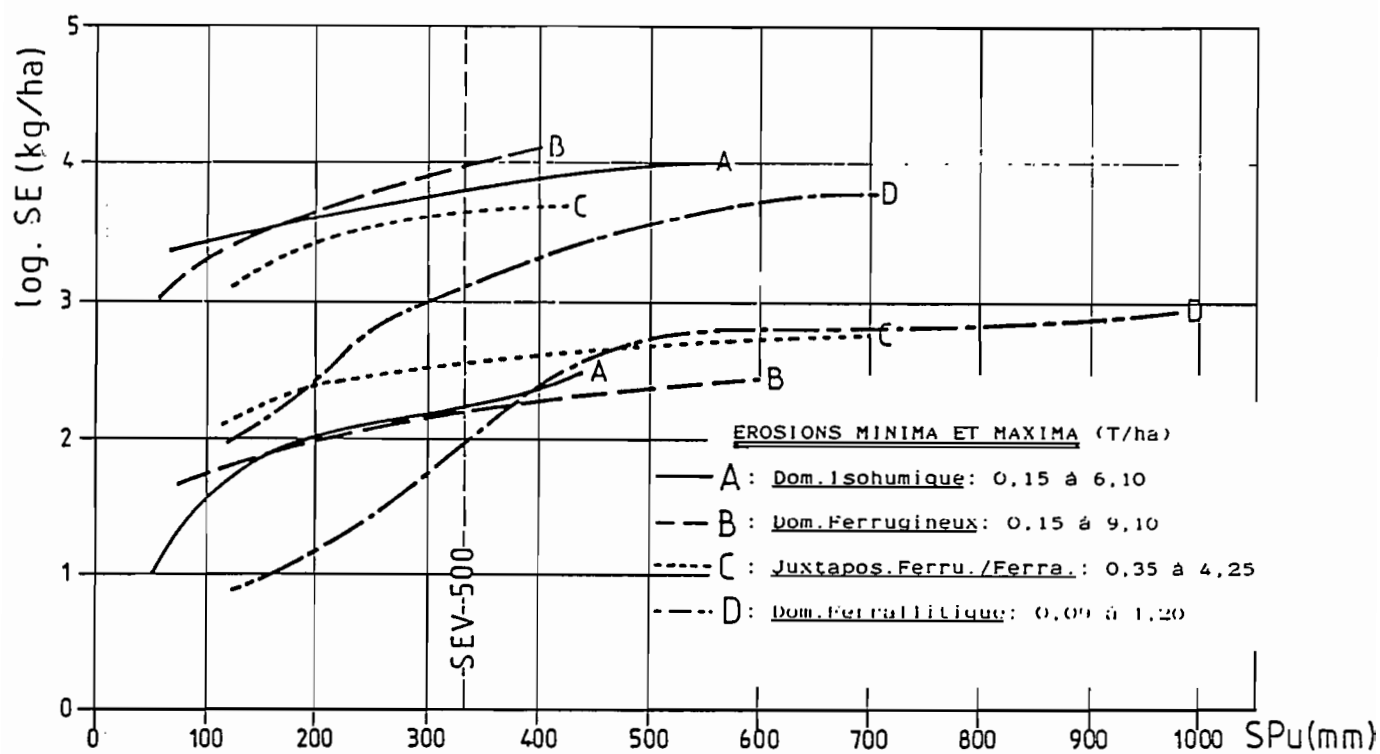
- A : **domaine isohumique** : de 16 à 14° N environ, contenant les sites représentatifs d'OURSI et de GALMI, soit 7 types de sols,

- B : **domaine ferrugineux s.s.**, de 14 à 11° N environ, avec les sites de POUNI, SAINT PAUL, BATANGA, LOUMBILA, soit 7 types de sols,

- C : **zone d'interpénétration des domaines ferrugineux et ferrallitiques**, **transition** s'étendant, approximativement, aux longitudes du

## Parcelles naturelles

250



## Parcelles labourées

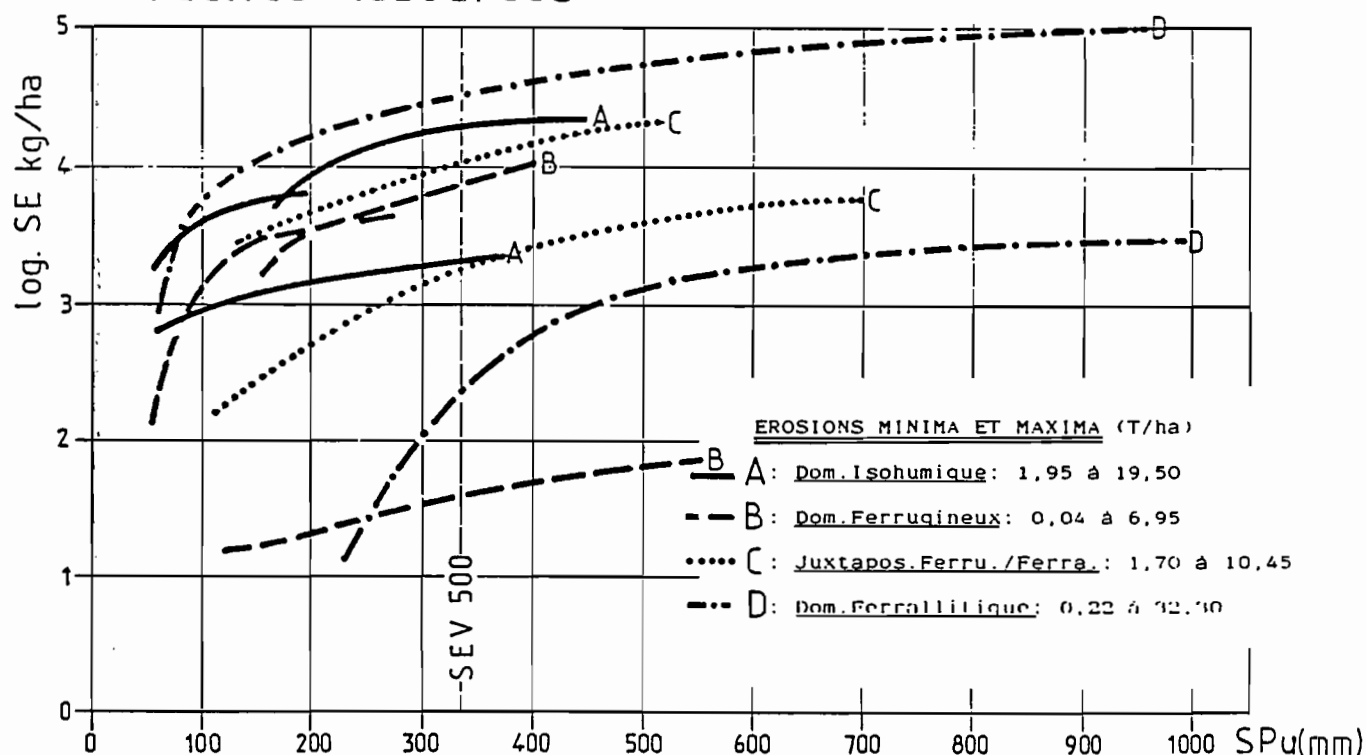


Fig. IV.42.: Courbes-enveloppes des érosions cumulées sur sols "naturels" et "labourés", par domaines pédoclimatiques, pour une érosivité cumulée de 500 points, ( N.B. ⇒ érosions sur tableaux en tonnes/hectare/SEV 500 ).

transect, entre les 11° et 8° de latitude Nord et comprenant la région de KORHOGO avec 5 types de sols,

- D : **domaine ferrallitique** correspondant, en Côte d'Ivoire, aux savanes humides et à la forêt, soit au sud des 8° N avec les régions de SAKASSOU et de TAÏ regroupant 6 types de sols.

Pour ces sols en leur **état naturel**, il n'existe manifestement **pas de liaison entre les niveaux extrêmes des érosions et l'appartenance des sols aux domaines pédologiques** définis précédemment ; tout au plus peut-on dire que les sols ferrallitiques ne semblent les moins érodables qu'en raison de la pérennité du couvert végétal en région forestière mais son efficacité ne se manifeste que pour des érosivités cumulées inférieures à 500 points, au-delà, leurs courbes-enveloppes sont encadrées par celles des 3 autres domaines.

Il apparaît également que la fourchette la plus large correspond au sols ferrugineux (facteur 60) et la plus étroite aux sols ferrallitiques (facteur 13). Il est cependant possible que cette différence traduise l'hétérogénéité de critères taxonomiques (morphogénétiques) peu utilisables pour une comparaison portant sur la dynamique actuelle des sols. Aussi est-il plus judicieux de considérer les caractéristiques intrinsèques des sols (morphologiques et analytiques) des différents sites.

#### *X.1.2. Niveaux d'érosion et caractéristiques intrinsèques des sols*

Dans un premier temps, les sols fournissant les érosions limites ont été identifiés dans les différents domaines ; cette identification, fondée sur l'analyse des différents graphiques (figures IV.35. à IV.41.) est reportée sur le tableau XLVII).

=====

**TABLEAU XLVII**  
Identification des sols fournissant  
les érosions limites.

Domaines	Sols		EROS	PENT	ARGI	TXEG	MORG
1	2		3	4	5	6	7
Isohumique	GALMI	3	6,90	3,2	7,9	0,5	-
	OURSI	1	0,16	2,2	3,9	0,0	-
Ferrugin.	ST. PAUL	2	11,28	2,6	6,1	0,0	+
	POUNI	2	0,16	2,5	24,5	85,0	+++
Transit.	KORHOGO	1	3,85	1,5	19,7	2,5	+
	KORHOGO	2	0,30	2,7	15,5	74,5	+++
Ferrallit.	SAKASSOU	2	1,05	3,7	14,5	7,5	++
	TAÏ	1	0,10	19,8	36,6	55,0	+++

-----

**Légende**

Colonne 3 : EROS - érosions maxima et minima et T/ha pour une érosivité ramenée à 500 joules/m<sup>2</sup> x mm

Colonne 4 : PENT - pente topographique en %

Colonne 5 : ARG1 - texture des 10 premiers centimètres exprimée en taux d'argile (%)

Colonne 6 : TXEG - taux pondéral en éléments grossiers sur 10 cm

Colonne 7 : MORG - taux de matière organique en % sur 10 cm avec :

. - < 0,5 %

. + 0,5 à 1,0 %

. ++ 1,0 à 1,5 %

. +++ > 1,5 %

=====

Il se dégage des informations précédentes les relations suivantes :

- les érosions maximales correspondent surtout aux sols de texture grossière,

- les érosions minimales correspondent exclusivement aux sols possédant une forte charge en éléments grossiers et ce, quelle que soit la texture de la phase meuble et quelle que soit la pente topographique ; on remarquera d'ailleurs que les sols les moins érodables sont différenciés sur les plus fortes pentes de toute la série (TAÏ 1),

- l'enrichissement en matière organique semble constituer un facteur limitant l'érosion, mais ceci reste peu déterminant car cet enrichissement peut être la conséquence et non la cause d'une ablation moins forte des horizons superficiels dont la résistance aurait une ou plusieurs autre(s) origine(s).

Ces quelques éléments de diagnose considérés au niveau des sols fournissant les données limites doivent pouvoir être étayés, dans un deuxième temps, par les caractéristiques des sols de la totalité des sites. Dans le tableau XLVIII (en annexe), on retiendra non plus leurs érosions globales, mais leurs turbidités moyennes CM2 afin d'isoler les détachabilités.

A l'intérieur de chaque géo- ou toposéquence, le classement des comportements (colonne 4 : VAR) permet de désigner le ou les facteur(s) de résistance ou de fragilité.

D'une séquence à l'autre, le rapprochement de ces facteurs permet d'ordonner leur efficacité :

- les facteurs de résistance maximum correspondent aux organisations interceptrices d'énergie qu'il s'agisse de débris végétaux (colonne 11 : VGT) ou d'éléments grossiers épandus en surface (colonne 10 : TXEG),

- lorsque les organisations précédentes ne jouent plus (interceptions nulles ou équivalentes), une relation apparaît avec les tests de stabilité des structures (HENIN et al., 1957) et une péjoration maximale est observée sur les sols à forte charge magnésienne du complexe absorbant, ce qui a été désigné précédemment par le terme de "dégradation chimique des structures" (colonne 8 :

DCHI), il s'agit essentiellement des sols des sites d'OURSI 2, POUNI 3 et BATANGA 1,

- la pente topographique intervient ensuite, son degré d'inclinaison tend à augmenter la détachabilité, son effet est plus important sur les textures grossières que sur les textures fines, tous autres facteurs étant par ailleurs égaux,

- les teneurs en matière organique semblent également intervenir, mais leur influence est d'une interprétation délicate pour la raison, évoquée précédemment, d'une confusion possible entre la cause et l'effet.

Le rôle d'un facteur déterminant a pu être isolé sur les quelques exemples suivants :

- - concernant l'efficacité des éléments grossiers

	PENT	ARGI	INST	TXEG	CM2
POUNI 1	7,5	26,3	2	60	0,35
KORHOGO 1	1,5	19,7	2	5	1,95

...malgré une pente 5 fois plus importante sur KORHOGO,

- - concernant la stabilité des structures

	PENT	ARGI	TXEG	INST	CM2
OURSI 1	2,2	3,9	0	0,5 à 0,7	0,43
ST PAUL 2	2,6	6,1	0	> 2	4,02

...malgré une texture sensiblement plus argileuse sur SAINT PAUL 2.

- - concernant la pente sur sols sableux

	ARGI	INST	TXEG	PENT	CM2
KORHOGO 5	3,7	> 2	0	2,2	0,83
SAKASSOU 3	3,7	> 2	0	4,5	1,90

- - concernant la pente sur sols plus argileux

	ARGI	INST	TXEG	PENT	CM2
SAKASSOU 41	15,0	1 à 2	0	3,8	2,13
SAKASSOU 42	15,5	1 à 2	0	2,8	1,54

### *X.1.3. L'érosion dans l'espace : vers une prévision de l'érosion des versants*

S'il n'existe pas de relations directes entre les degrés d'érosion hydrique et la différenciation génétique des sols à l'origine de leur classement en divers domaines pédologiques, il apparaît par contre des liaisons plus étroites avec leurs caractéristiques intrinsèques qui sont, quant à elles, à l'origine de leur distribution en des niveaux taxonomiques inférieurs.

Il faut cependant constater qu'il est difficile d'extraire des systèmes de classifications des sols des éléments d'information homogènes permettant des prévisions de comportements érosifs pouvant, par exemple, enrichir l'information sur des aptitudes culturales.

La situation n'est guère meilleure dans les autres systèmes de classification moins génétiques, il suffit, pour s'en convaincre, de consulter les légendes des **cartes de risques de dégradation des sols** actuellement éditées qui sont rarement "croisées" avec celles des cartes pédologiques et où l'on ne retient en effet, le plus souvent, que des critères hypsométriques et climatiques. Ceci revient à considérer les sols comme des entités homogènes et non réactives ce que démentent les premiers niveaux d'analyse précédents.

La morphogénèse des sols est très liée à la dynamique superficielle au moins au niveau des épipédons et les effets de cette liaison sont réciproques en ce qui concerne notamment l'érosion. Les informations contenues dans la colonne 4 (VAR) du tableau XLVIII mettent en évidence, au moins sur les différenciations toposéquentielles, des érodabilités plus faibles sur les hauts de versant et plus importantes en aval. L'articulation des ces érodabilités peut s'illustrer à l'aide d'un orthotype de versant qui serait situé en zone soudano-guinéenne et dont les sols se différencieraient au dépens d'un seul type de roche-mère (ce peut donc être le cas des séquences de POUNI, LOUMBILA, KORHOGO, SAKASSOU).

En amont se développent des sols de texture plus fine et à charge importante en éléments grossiers au dépens de matériaux hérités de pédogénèses antérieures (altérations kaoliniques et indurations sesquioxides).

L'ablation continue de la phase meuble amène un enrichissement progressif en nodules ferrugineux (POUNI 1, 2, LOUMBILA 1, KORHOGO 2 et 3), qu'il s'agisse d'une accumulation relative par ablation ou absolue par colluvionnements locaux. Ce segment, qualifié d'"érosif" par les géographes physiciens à cause de la nature et de la présence des matériaux relictuels, devient le moins érodable pour une concentration superficielle suffisante en éléments grossiers (cf. chapitre XIV).

Les éléments les plus fins sont exportés jusqu'au réseau, les moins fins ne dépassent pas les segments "accumulatifs" de l'aval où se différencient des sols sableux généralement dépourvus d'éléments grossiers et qui deviennent de ce fait, les plus érodables (POUNI 3, KORHOGO 4 et 5, SAKASSOU 3). Leur détachabilité est importante mais leur érosion effective dépendra de la compétence des eaux de ruissellement donc :

- a) de l'infiltrabilité en aval,
- b) des hauteurs des lames d'eau provenant de l'amont,

c) de l'évolution du profil du versant (atténuation et régularité de la pente).

La conjugaison de ces éléments fait que, bien souvent, il n'y a pas transmission des terres érodées jusqu'au réseau mais épandages diffus, remaniés à chaque ruissellement et épuisés en leurs particules les plus fines.

Une différence nord-sud apparaît à l'intérieur de cette zone selon une partition entre accumulation partielle ou évacuation totale. Elle dépend des dynamiques anciennes (phases érosives fragmentant le modelé et fixant la dimension des interfluves) et actuelles (érosivité des pluies et modalités d'une érosion qui peut être en nappe ou concentrée), elle commande finalement le profil des versants.

Ce schéma connaît l'exception des hétérogénéités pétrographiques (géoséquences d'OURSI et de GALMI) qui réorientent la différenciation des sols et la distribution séquentielle des érodabilités.

## ***X.2. L'érosion des sols soumis à un labour de référence***

Les principales modifications entraînées par le labour ont déjà été présentées précédemment, on ne rappellera ici que celles qui sont les plus en rapport avec l'analyse de l'érosion :

- exportation de tous débris végétaux,
- destruction des organisations superficielles naturelles,
- homogénéisation texturale sur une profondeur de 15 à 20 cm, donc très souvent, enrichissement en éléments fins,
- création d'une macroporosité artificielle importante sur les sols argileux, plus faible sur les sols sableux ressuyés.

Les évolutions des pertes en terre sont reportées sur les graphiques des figures IV.35. à IV.42. (traits fins) qui traduisent les relations :

$$\log. SE = f (SPu)$$

avec SE = érosion cumulée en kg/ha, et SPu = pluies cumulées en mm.

### ***X.2.1. Niveaux d'érosion des sols labourés et domaines pédologiques***

Selon la même démarche que précédemment, on a représenté sur la figure IV.42. (labour) les courbes-enveloppes définissant les érosions maximales et minimales pour les différents domaines pédologiques. Comme dans le cas des sols en leur état naturel, le labour ne fait apparaître aucun classement zonal mais, par rapport à ceux-ci, on relève cependant les modifications suivantes :

- un élargissement important de l'aire délimitée par les courbes-enveloppes extrêmes avec une fourchette passant d'un facteur 100 (nat.) à un facteur 800 (lab.) pour une érosivité de 500 points ; ceci reporte les limites minimales à 0,04 T/ha (domaine ferrugineux) et maximales à 32,3 T/ha (domaine ferrallitique),

• cette "dilatation" de la fourchette est la conséquence d'une dégradation accrue des sols ferrallitiques labourés alors que certains sols ferrugineux labourés s'érodent moins qu'en leur état naturel.

Par rapport aux sols naturels, les variations d'érosion aux limites se présentent en effet de la façon suivante :

:-----:			
:	: Erosions mini.	: Erosions maxi.	:
:-----:			
: Domaine A :	x 13,0	: x 3,2	:
: Domaine B :	x 3,7	: x 0,7	:
: Domaine C :	x 4,8	: x 2,5	:
: Domaine D :	x 2,4	: x 27,0	:
:-----:			

La comparaison des variations dans les domaines extrêmes, isohumiques (A) et ferrallitiques (D), montre que, dans le premier cas, le rétrécissement de la fourchette est dû à une **augmentation de l'érosion des sols les moins fragiles** tandis que, dans le second cas, l'extension très importante de cette fourchette, procède d'une évolution inverse : ce sont les **sols ferrallitiques les plus fragiles** en leur état naturel qui voient leur érosion augmenter le plus considérablement à la suite du labour.

Le labour a des effets différents dans chacun des domaines. Pour les sols **isohumiques et ferrugineux** soudaniens, démunis de végétaux en saison sèche, il consiste surtout en un remaniement des organisations superficielles. Pour les sols **ferrallitiques** c'est l'exportation des couverts aériens et d'extirpation du système racinaire traçant qui prime. Ces deux types de transformation se répercutent sur le sens et l'ampleur des modifications subies par les sols labourés. La **protection naturelle** des sols **ferrallitiques** est très efficace puisque l'on trouve un facteur x 27, par contre, l'effondrement des mottes et la reconstitution de **pellicules** superficielles peuvent provoquer de sensibles diminutions de l'érosion sur les sols **ferrugineux** avec un facteur x 0,7.

Il apparaît enfin que les sols **isohumiques** ont des comportements plus homogènes que les sols **ferrallitiques** dont l'aire délimitée par les courbes-enveloppes est beaucoup plus importante. Mais s'agit-il de la manifestation de caractéristiques naturelles et zonales ? C'est peu probable, car cette différence reflète plutôt l'hétérogénéité des critères taxonomiques utilisés dans l'une et l'autre des classes : les sols **isohumiques** sont en effet surtout définis par les caractéristiques de leur épipédon tandis que les sols **ferrugineux** et, a fortiori, **ferrallitiques**, sont identifiés par l'altérogénèse des matériaux dont ils sont issus, celle-ci s'exerçant au niveau d'horizons épargnés par les manifestations de la dynamique superficielle.

Comme pour l'analyse du ruissellement, l'étude de l'érosion nous oblige à **privilégier les caractéristiques intrinsèques des sols** pour pouvoir discriminer des comportements et ce de façon encore plus étroite que ceux qui permettent de distinguer des régimes de ruissellement.



### X.2.2. Niveaux d'érosion des sols labourés et caractéristiques intrinsèques des sols

L'identification des sols à l'origine des érosions limites conforte les informations recueillies pour les sols en leur état naturel.

Le tableau XLIX fait en effet ressortir la plus grande fragilité des sols **sableux** et le rôle protecteur des charges en **éléments grossiers**. Le rôle de la **matière organique**, peu précise sur sols naturels, apparaît mieux ici avec une limitation des érosions plus sensibles dans les sols des zones sèches.

TABLEAU XLIX

Parcelles labourées - identification des sols  
fournissant les érosions limites.

DDMAINES	IDENTIFICATION DES LIMITES		EROS	PENT	ARGI	TXEG	MORG
		2	3	4	5	6	7
ISOHUMIQUE	max.	DURSI 1	20,10	2,2	4,7	0,4	-
		et GALMI 3	10,60	3,8	10,5	0,5	-
	min.	DURSI 3	1,92	0,9	9,5	9,7	+
FERRUGINEUX	max.	ST. PAUL 2	10,22	2,6	8,7	0,0	+
		et POUNI 3	6,05	0,9	25,8	3,2	++
	min.	POUNI 2	0,04	2,5	32,2	69,8	+++
TRANSITION	max.	KORHOGO 5	8,70	2,5	6,3	1,3	-
	min.	KORHOGO 2	1,40	2,7	27,7	67,0	+++
FERRALLITIQUE	max.	TAï 3	32,00	7,3	25,1	0,0	+++
	min.	TAï 1	0,10	19,8	38,3	59,0	+++

#### Légende

Colonne 3 : EROS - érosions maxima et minima en T/ha, pour une érosivité ramenée à 500 points,

Colonne 4 : PENT - pente topographique en %,

Colonne 5 : ARGI - texture des 15 premiers centimètres exprimée en % d'argile (prélèvement agronomique),

Colonne 6 : TXEG - taux pondéral en éléments grossiers sur 15 cm (prélèvement agronomique)

Colonne 7 : MORG - taux de matière organique sur 15 cm (prélèvement agronomique) avec les classes suivantes :

- < 0,5 %

+ 0,5 à 1,0 %

++ 1,0 à 2,0 %

+++ > 2,0 %

Les variations des détachabilités dues au labour sont rassemblées sur les différents tableaux n° L.a. à L.i. ainsi que les caractéristiques secondaires des sols du transect, parfois sensiblement modifiées par rapport aux situations "naturelles" notamment au niveau des textures et des charges en éléments grossiers. Les commentaires, par séquences, attirent l'attention sur les principales causes de ces variations.

=====

### TABLEAUX L.a. à L.i.

Détachabilité des sols labourés, comparaison  
avec les sols naturels, facteurs de résistance \* et de fragilité (-)

TABLEAU L.a.

SEQUENCES	SOLS	CM2	DIFNAT	PENT	ARGI	INST	DCHI	MORG	TXEG
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
OURS	1	5,36	x 12,5	(2,2)	4,7	0,72	0	-	0,4
	2	6,41	x 2,7	0,4	30,1	(3,35)	(+)	+	7,7
	3	2,70	x 2,8	0,9*	9,5	1,45	0	+	9,7*

Les sols argilo-sableux vertiques (2) restent les plus érodables l'effet de la pente se manifeste fortement sur les sols sableux de l'amont (1) par rapport aux sols sableux grossiers de l'aval enrichis en graviers de quartz par le labour (3) \* ceux-ci deviennent ainsi les moins érodables de la géoséquence (3).

TABLEAU L.b.

SEQUENCES	SOLS	CM2	DIFNAT	PENT	ARGI	INST	DCHI	MORG	TXEG
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
GALMI	1	1,56	x 1,2	0,5*	9,1	1,28*	0	-	12,0*
	2	4,18	x 2,5	(2,9)	22,9	(1,50)	0	++	6,2
	3	3,76	x 1,1	3,8	10,5	1,20	0	-	0,5
	4	6,31	x 2,4	2,1	28,5	(1,80)	0	++	0,6

Par rapport aux sols naturels, l'ordre des détachabilités n'est pas modifié \* les plus importants changements se produisent sur les sols aux textures fines à structure dégradable (2 et 4).

TABLEAU L.c.

SEQUENCES	SOLS	CM2	DIFNAT	PENT	ARGI	INST	DCHI	MORG	TXEG
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
POUNI	1	2,77	x 7,9	(7,5)	35,6	5,00	0	+	53,8
	2	0,34	x 1,2	2,5	32,2	2,40	0	+	69,8*
	3	2,39	x 1,0	0,9	25,8	(3,70)	(+)	+	3,2

L'ordre est modifié car le labour fragilise les sols argilo-sableux gravillonnaires

les plus pentus par "lavage" des gravillons (1), ce labour modifie peu les concentrations gravillonnaire de (2), anciennement cultivé donc appauvri plus profondément en argile, les sols meubles de l'aval restent très érodables,

TABLEAU L.d.

SEQUENCES	SOLS	CM2	DIFNAT	PENT	ARGI	INST	DCHI	MORG	TXEG
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ST PAUL	1	3,17	x 3,3	4,5	6,9	1,20	0	+++	14,0%
	2	6,25	x 1,5	2,6	8,7	(3,50)	0	+	0,1

L'ordre n'est pas modifié ; le labour tend à homogénéiser les comportements ; l'érosion du sol amont (1) est limitée malgré la pente et la texture sableuse par la mise à l'affleurement de la charge en éléments grossiers des altérites, par contre le sol aval (2) perd une cohésion qui était liée aux pellicules superficielles en son état naturel, sa très faible stabilité structurale est ainsi révélée ,

TABLEAU L.e.

SEQUENCES	SOLS	CM2	DIFNAT	PENT	ARGI	INST	DCHI	MORG	TXEG
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
BATANGA	1	6,43	x 7,0	0,5	31,2	(5,20)	0	(+)	2,5

La fusion des mottes de labour par sursaturation hydrique est plus importante que celle des horizons superficiels du sol non remanié,

TABLEAU L.f.

SEQUENCES	SOLS	CM2	DIFNAT	PENT	ARGI	INST	DCHI	MORG	TXEG
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
LQUMBILA	1	1,29	x 1,6	1,4	10,3	1,60	0	+	10,2%

Une légère fragilisation est liée au "lavage" des gravillons comme dans le cas de POUNI 1

TABLEAU L.g.

SEQUENCES	SOLS	CM2	DIFNAT	PENT	ARGI	INST	DCHI	MORG	TXEG
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
KORHOGO	1	3,16	x 1,6	1,5	29,8	1,30	0	+	2,5
	2 et 3	1,50	x 4,8	2,7	27,7	1,40	0	+++	67,0%
	4	1,97	x 1,7	2,7	25,0	-	0	++	65,0
	5	2,43	x 2,9	(2,5)	(6,3)	1,50	0	(-)	1,9

L'ordre des détachabilités n'est pas modifié ; le labour homogénéise les réactions + les sols gravillonnaires restent les moins érodables (2, 3 et 4), le labour amène

cependant une forte diminution des charges en éléments grossiers par brassage des concentrations relatives superficielles,

TABLEAU L.h.

SEQUENCES	SOLS	CM2	DIFNAT	PENT	ARGI	INST	DCHI	MORG	TXEG
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
SAKASSOU	1	3,07	x 16,1	2,3	10,3	-	0	++	(0,1)
	2	7,19	x 3,3	3,7	13,4	-	0	++	20,0
	3	11,35	x 6,0	(4,5)	(3,7)	1,25	0	++	0,1
	41	15,23	x 7,0	(3,8)	14,5	(2,3)	0	++	0,1
	42	9,02	x 5,8	2,8	15,0	2,3	0	++	0,1

L'ordre est modifié car le labour amène à l'affleurement les éléments de la stone-line normalement enfouis dans les sols non remaniés (2), par contre, les concentrations superficielles (1) sont réincorporées dans le sol ; les différences sont très importantes car le système racinaire traçant de la savane herbeuse est extirpé, cet effet est renforcé par celui de la pente sur (3) et (41),

TABLEAU L.i.

SEQUENCES	SOLS	CM2	DIFNAT	PENT	ARGI	INST	DCHI	MORG	TXEG
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
TAÏ	1	1,36	x 9,0	19,8	38,3	0,65	0	+++	59,0%
	3	16,19	x 41,5	7,3	25,1	1,65	0	+++	0,1

L'ordre n'est pas modifié mais l'augmentation de l'érodabilité des sols meubles et plus instables de l'aval (3) est très importante \* dans les deux cas (1 et 3) l'extirpation du système racinaire traçant augmente fortement la détachabilité

### Légende

- \* facteur de résistance,
- (-) facteur de fragilité,
- Colonne 3 : - CM2 : turbidité moyenne pondérée (g/l) sur labour,
- Colonne 4 : - DIFNAT : modification de la détachabilité par rapport au sol en son état naturel
- Colonne 5 : - PENT : pente topographique en %,
- Colonne 6 : - ARGI : taux d'argile (%) entre 0 et - 15 cm
- Colonne 7 : - INST : indices d'instabilité structurale (Is de HENIN et MONNIER, 1957),
- Colonne 8 : - DCHI : dégradation chimique des structures (magnésium)
- Colonne 9 : - MORG : taux de matière organique humifiée sur 15 cm (carbone total  $\times 0,1724 \times 10^{-2}$ ) selon le classement : - < 0,5 %, + : 0,5 à 1,0 %, ++ : 1,0 à 2,0 %, +++ : > 2,0 %,
  - Colonne 10 : - TXEG : charge en éléments grossiers entre 0 et - 15 cm.

Compte tenu des conditions expérimentales (intervention en saison sèche dans la majorité des cas), les informations précédentes se résument de la façon suivante :

- le labour fragilise la quasi-totalité des sols (à l'exception de POUNI 3 et de GALMI 1 et 3),

- les amplitudes de ces augmentations ne permettent cependant pas d'ordonner les érodabilités par domaines pédologiques parce que les états initiaux des sols diffèrent selon les régions climatiques. Dans les zones sèches, les couverts végétaux, déjà clairsemés en saison des pluies, disparaissent plus ou moins complètement en saison sèche, l'interception de l'énergie des pluies est faible aussi se différencie-t-il en surface des organisations pelliculaires modifiant la cohésion. En zone humide, le couvert reste vivant même si sa densité diminue en saison sèche, le système racinaire traçant reste dense en savane et, a fortiori, en zone forestière ; dans ces conditions, il n'est pas étonnant de constater des différences de détachabilité plus importantes en zones humides qu'en zone sèche car le labour amène beaucoup plus de perturbations superficielles en zone humide (SAKASSOU et TAÏ par exemple).

- La charge en éléments grossiers diminue de façon importante la détachabilité car elle intercepte l'énergie des pluies et ralentit la vitesse du courant dans les deux situations décrites. Cependant, sur une séquence de sols, l'ordre initial des détachabilités est souvent modifié après le labour qui agit de deux façons :

- diminution de la charge par brassage et enfouissement de ses concentrations superficielles (POUNI 1, KORHOGO 2 et 3 par exemple),

- mais aussi, augmentation de la charge lorsque la profondeur du labour permet d'atteindre un niveau de concentration en éléments grossiers (stone-line de SAKASSOU 2 par exemple).

- La fragilisation des sols labourés est accentuée par l'augmentation de la pente topographique. Cet effet est surtout important sur les sols sableux mais la texture semble moins intervenir que la stabilité des structures : il existe des sols plus argileux dont la structure est dégradée chimiquement (OURSI 2, BATANGA 1, POUNI 3, par exemple) et qui fournissent des turbidités nettement plus importantes que les sols sableux, toutes autres conditions étant égales par ailleurs.

Le labour est le traitement approprié pour illustrer les effets des variations de la stabilité des structures, cependant ce niveau d'analyse reste trop succinct pour pouvoir dégager toutes les interrelations possibles. C'est ainsi qu'il existe des seuils d'inclinaison de pente en deçà desquels les relations précédentes sont mises en défaut. Une combinaison des effets des paramètres pente, stabilité structurale, rugosité, se dégage.

- Sur les plus faibles pentes, les structures instables s'effondrent rapidement entraînant un lissage du sol donc un étalement homogène de la lame d'eau détenue superficiellement pendant le régime permanent du ruissellement (Dm) et une interception générale de l'énergie des pluie. Par contre, les structures plus résistantes maintiennent plus longtemps la rugosité du sol et, favorisant une répartition hétérogène de Dm, des zones sans interception d'énergie subsistent qui alimentent alors en continu et de façon importante la turbidité,

• Sur les plus fortes pentes, le schéma précédent peut s'inverser car à l'énergie des pluies s'ajoute l'énergie du courant de ruissellement incisant les sols les moins cohérents avec les conséquences déjà développées dans le chapitre VIII (répartition hétérogène de  $D_m$ , reprise de l'effet "splash" sur les zones exondées, sapement par canalisation du courant).

Il convient maintenant de préciser l'analyse en la basant **non plus sur des valeurs instantanées** de la détachabilité mais **sur son évolution** tout au long des averses.

### *X.2.3. Evolution des détachabilités, comparaison de leurs valeurs sur les surfaces naturelles et labourées*

Au cours des analyses précédentes, les différents niveaux d'érosion ont été donnés pour une érosivité constante des pluies, ce qui a permis de comparer les effets d'événements climatiques simulés identiques sur des sols différents. L'inconvénient de cette démarche est qu'elle présuppose une évolution identique des érosions, ce qui n'est probablement pas le cas puisque l'on a déjà constaté que chaque ruissellement pouvait fournir des turbidigrammes différents.

L'examen des faisceaux de courbes traduisant la relation :

$$\log. SE = f(SPu)$$

montre effectivement des variations dont la perception est cependant difficile, d'une part, par l'utilisation d'érosions cumulées, d'autre part, par l'adoption du système de coordonnées semi-logarithmiques.

Ces variations de l'érosion ont différentes origines :

- dilution de la charge solide par les lames ruisselées, dont les hauteurs sont liées aux caractéristiques des organisations superficielles agissant sur l'infiltrabilité

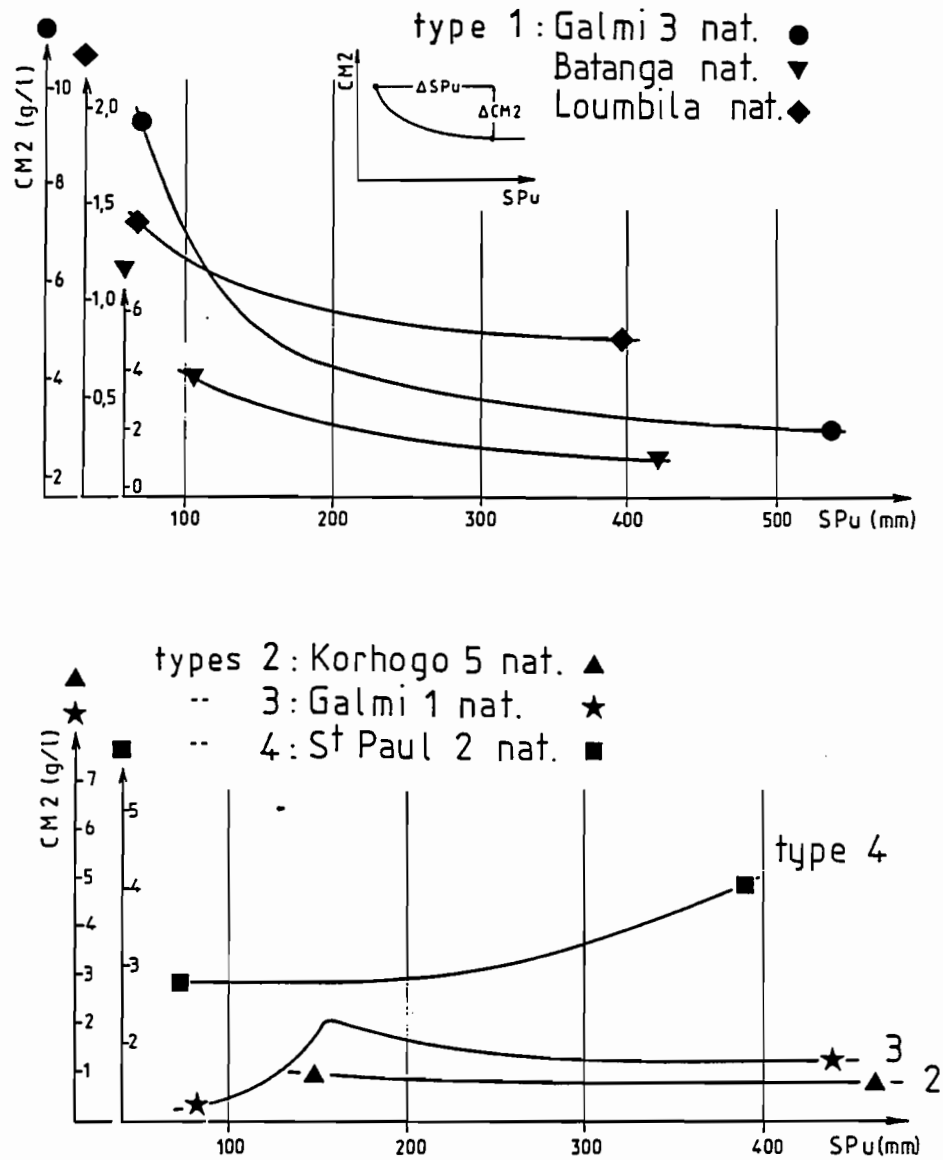
- modulation de la charge transportée par la compétence du ruissellement, agissant par son débit (mesures à l'exutoire) et par les variations locales de sa vitesse (non mesurables à l'exutoire, déduites de la topographie),

- modulation de la détachabilité par les variations de la capacité érosive du courant,

- modulation de la détachabilité par modification de la cohésion et de la rugosité des surfaces,

- modulation de la détachabilité par la composition granulométrique des surfaces.

On a cependant constaté que dans près de 75 % des cas, les régimes de ruissellement devenaient constants au bout d'une ou de deux averses dans les **zones sahéliennes et soudaniennes** ; il est alors possible de suivre les évolutions des turbidités moyennes pondérées par les lames ruisselées cumulées



vitesse d'évolution de la détachabilité

$$EVCM2 = \Delta CM2 / \Delta SPu$$

GALMI 1, nat. :  $1,8 \times 10^{-2}$  et  $-0,3 \times 10^{-2}$   
 GALMI 3, nat. :  $-1,8 \times 10^{-2}$   
 SAINT PAUL 2, nat. :  $0,8 \times 10^{-2}$   
 BATANGA nat. :  $-1,2 \times 10^{-2}$   
 LOUMBILA nat. :  $-0,4 \times 10^{-2}$   
 KORHOGO 5 nat. : # 0

Fig. IV.43.: Les quatre types d'évolution des détachabilités des sols "naturels" avec le cumul des averses.





(CM2) tout au long des essais en utilisant la relation :

$$CM2 = f(SPu)$$

avec : CM2 exprimée en grammes par litres, = SE/10 SL,

SE = érosion cumulée en kg/ha,

SL = lame ruisselée cumulée en mm,

SPu = hauteurs de pluies cumulées en mm.

On peut ainsi isoler les variations de la turbidité issues des seules variations de la détachabilité des surfaces tout au long des averses.

En zone humide (SAKASSOU et TAY) on a par contre constaté que les régimes de ruissellement enregistraient par contre les modifications des caractéristiques porales des horizons de profondeur et de leurs interfaces au cours de la descente du front humide. Il reste cependant facile de repérer sur les évolutions des turbidités les conséquences de ces changements de régime, aussi est-il toujours possible de suivre leur évolution générale.

Compte tenu de ces remarques, l'évolution des ~~détachabilités~~ présente selon 4 modes sur sols naturels et labourés, ceux-ci sont illustrés à l'aide des exemples de la figure IV.43 :

- 1er type : la turbidité connaît une valeur maximale lors de la première averse, elle décroît ensuite plus ou moins fortement et rapidement jusqu'à un palier ou un pseudo-palier,
- 2ème type : la turbidité reste sensiblement constante tout au long des essais,
- 3ème type : les turbidités augmentent puis décroissent jusqu'à une valeur palier,
- 4ème type : les turbidités augmentent continuellement.

Les deux premiers types traduisent une **stabilisation** de la détachabilité qui peut être très rapide et non détectable par le dispositif utilisé (2) ou plus progressive (1) ; le troisième type traduit la succession d'une phase de **dégradation** et de **stabilisation**, enfin, le quatrième type de comportement suggère une **dégradation persistante** ou quasi persistante.

La rapidité des processus de stabilisation ou de dégradation peut être évaluée par le rapport des différences de turbidité sur la hauteur de pluie nécessaire au déroulement de l'évolution, soit par l'expression :

$$EVC_{M2} = \Delta CM2 / \Delta SPu \quad (\text{cf. petit schéma en haut de la figure IV.43})$$

avec  $\Delta CM2$  = écart entre la turbidité maximale et la turbidité minimale,

$\Delta SPu$  = différences de hauteurs de pluies entre CM2 max. et CM2 min.

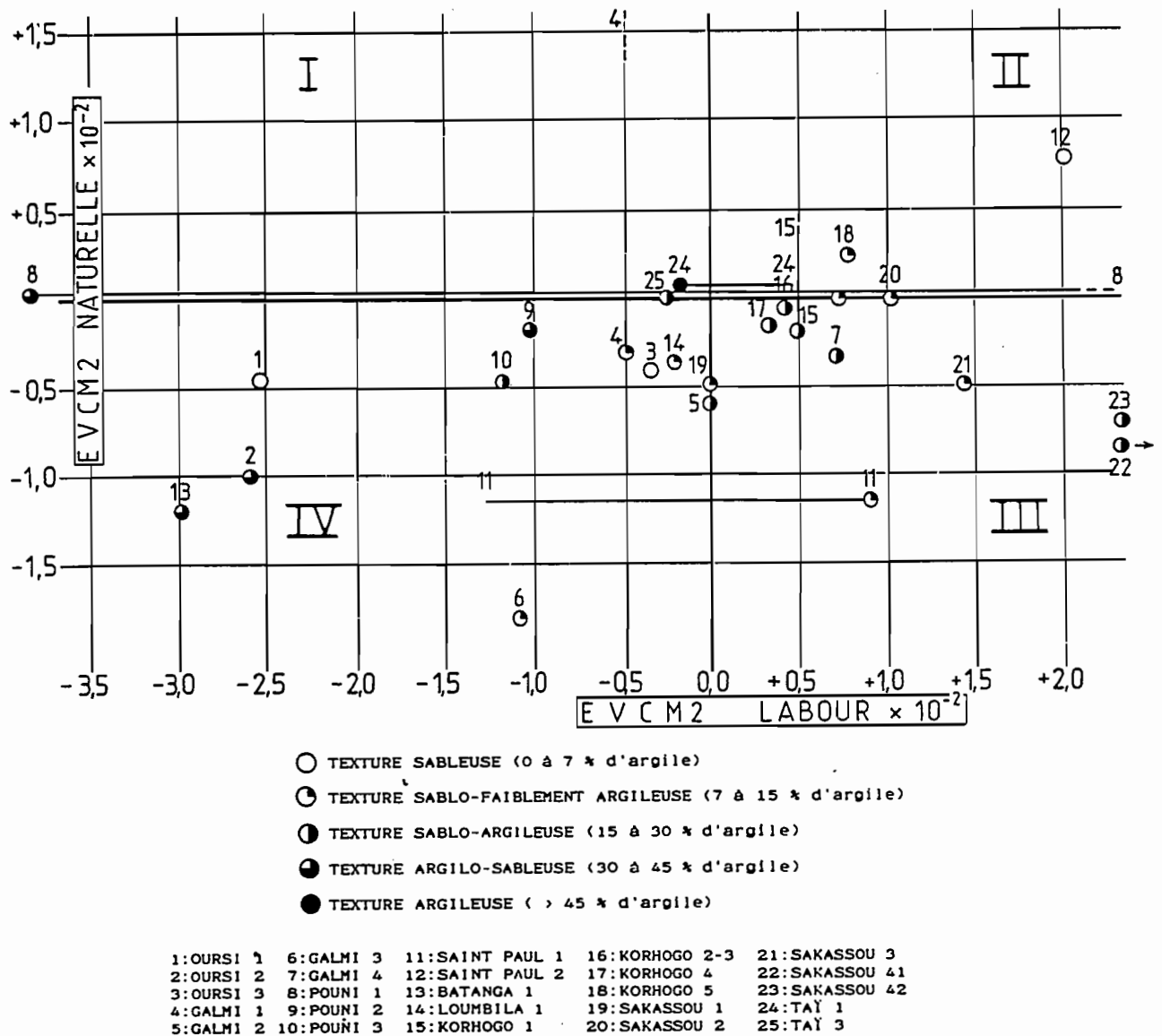
$EVC_{M2}$  = coefficient de vitesse d'évolution des turbidités

$EVC_{M2}$  oscille entre des valeurs  $< 0$  (stabilisation),  $= 0$  (non évolution), et  $> 0$  (dégradation) ; ces coefficients sont d'autant plus éloignés de 0 que l'évolution est plus rapide.

Il est alors intéressant de comparer les évolutions conjointes des sols naturels et labourés en utilisant une représentation graphique où chaque

sol est repéré par un système d'axes orthogonaux qui portent les coefficients d'évolution des deux situations expérimentales.

La figure IV.44. montre que, de cette façon, chaque type de sols se situe soit à l'intérieur des 4 secteurs délimités par les deux axes de non évolution (types 1 et 4), soit sur ces axes (type 2), soit sous la forme d'un segment de droite parallèle à l'un ou à l'autre axe (type 3) :



**Fig. IV.44.:** Evolutions conjointes des détachabilités des sols "naturels" et "labourés" : classement de leurs comportements érosifs.

- la **classe I** regroupe les sols qui se dégradent en leur état naturel et se stabilisent lorsqu'ils sont labourés,
- la **classe II** contient ceux qui se dégradent dans les deux situations,
- dans la **classe III**, les sols se stabilisent en leur état naturel tandis qu'ils se dégradent lorsqu'ils sont labourés,

- enfin, la classe IV contient des sols se stabilisant dans les deux situations.

La distance séparant ces points de l'origine des deux axes fournit une information sur les rapidités respectives des processus ; leur position sur les 4 bissectrices indique des vitesses d'évolution identiques pour les deux situations expérimentales.

Les exemples des figures IV.45. a. à f. représentent ces 4 types d'évolutions.

#### POUNI 1 (figure IV.45.a.)

EVC<sub>M2</sub> nat. # 0 (traits fins)

EVC<sub>M2</sub> lab. =  $7,0 \times 10^{-2}$  puis -  $3,9 \times 10^{-2}$  (gros traits)

La détachabilité de la parcelle naturelle n'évolue pas, celle de la parcelle labourée évolue selon le mode 3. Ce site est représenté par un segment de droite confondu avec l'axe EVC<sub>M2</sub> lab. La phase de dégradation correspond au "lavage" des gravillons remaniés par le labour, processus nécessitant environ 100 mm de pluies, puis l'exportation de la matrice meuble se stabilise jusqu'à une valeur palier de 2,7 g/l, donc encore nettement plus importante que celle de la surface naturelle dont la concentration gravillonnaire superficielle intercepte l'énergie des pluies et protège ainsi la matrice meuble interstitielle des microhorizons sous-jacents.

#### GALNI 1 (figure IV.45.b.)

EVC<sub>M2</sub> nat. =  $1,8 \times 10^{-2}$  et -  $0,3 \times 10^{-2}$

EVC<sub>M2</sub> lab. = -  $0,5 \times 10^{-2}$

La parcelle labourée se stabilise légèrement, la parcelle naturelle se dégrade puis se stabilise mais avec des amplitudes et des vitesses d'évolution sans commune mesure avec celles constatées sur POUNI 1 : en effet, la courte phase de dégradation correspond à l'exportation du voile sableux éolien superficiel et non incorporé au sol, l'évolution ultérieure correspond à l'abrasion d'une surface plane et lissée à organisation pelliculaire cohérente.

#### SAINT PAUL 2 (figure IV.45.c.)

EVC<sub>M2</sub> nat. =  $0,8 \times 10^{-2}$

EVC<sub>M2</sub> lab. =  $2,0 \times 10^{-2}$

Les deux parcelles se dégradent, lentement sur le sol naturel (vieille jachère), rapidement sur le labour. Ces évolutions parallèles, d'amplitudes différentes, sont caractéristiques des sols sableux (7 % d'argile), pentus (2,6 %), peu cohérents, cultivés depuis longtemps sans aucune mesure de restauration de la stabilité structurale.

#### SAKASSOU 42 (figure IV.45.d.)

$$\text{EVC2 nat.} = - 0,7 \times 10^{-2}$$

$$\text{EVC2 lab.} = 2,3 \times 10^{-2}$$

Dégradation rapide et importante du labour, stabilisation du sol naturel : il s'agit d'un sol meuble, sablo-argileux (15 % d'argile) pentu (3 %), occupant des sites de colluvionnement entre deux sommets cuirassés ; sa stabilité structurale est faible, sur labour. Cette évolution est la conséquence de l'extirpation de l'"armature" racinaire, on passe d'une érosion en nappe à une érosion concentrée comme le prouvent environ 80 % de turbidigrammes de type 3,

#### GALMI 2 (figure IV.45.e.)

$$\text{EVC2 nat.} = 0,2 \times 10^{-2}$$

$$\text{EVC2 lab.} = \# 0$$

Turbidités importantes mais constantes sur labour, stabilisation faible et lente sur sol naturel : ce sol est sablo-argileux (23 % d'argile), la pente est moyenne (2,9 %), l'érosion en nappe prédomine (uniquement turbidigrammes de types 1 et 2) même sur le labour.

#### OURS I 2 (figure IV.45.f.)

Stabilisation dans les deux situations mais la vitesse d'évolution est nettement plus élevée sous labour : il s'agit d'un sol argilo-sableux (30 % d'argile), vertique à structure chimiquement dégradable, la pente est très faible (0,45 %). Les mottes de labour "fondent" rapidement, le sol se lisse et réagit dès lors comme le sol non travaillé. Cette stabilisation résulte de la prédominance d'une érosion en nappe (85 % des turbidigrammes sont de type 1, 2 et 6 sur sol naturel et 95 % sur labour) mais les charges restent fortes car la surface du sol atteint la limite de liquidité par sursaturation hydrique.

Une analyse similaire pratiquée sur la **totalité des sites** permet de relever des liaisons plus ou moins étroites entre les caractéristiques intrinsèques des sols, la distribution de leurs turbidigrammes par averse individuelles et leurs réactions repérées par leurs coordonnées dans le graphique précédent.

• Pour ce qui concerne la **distribution des turbidigrammes par averse individuelles** on note de fortes relations entre les types de turbidigrammes et les 4 classes d'évolution observées dans les exemples précédents. La stabilisation résulte de la plus grande fréquence de l'érosion en nappe tout au long des averse (turbidigrammes 1, 2 et 6). La dégradation correspond à l'apparition d'une érosion concentrée dans le processus général d'érosion, avec l'intercalation de plus de 20 % de turbidigrammes 3, 4 ou 5 dans les séquences d'averse. Le tableau LII démontre la relation entre la typologie des turbidigrammes et cette distribution des sols dans les quatre classes d'évolution des détachabilités.

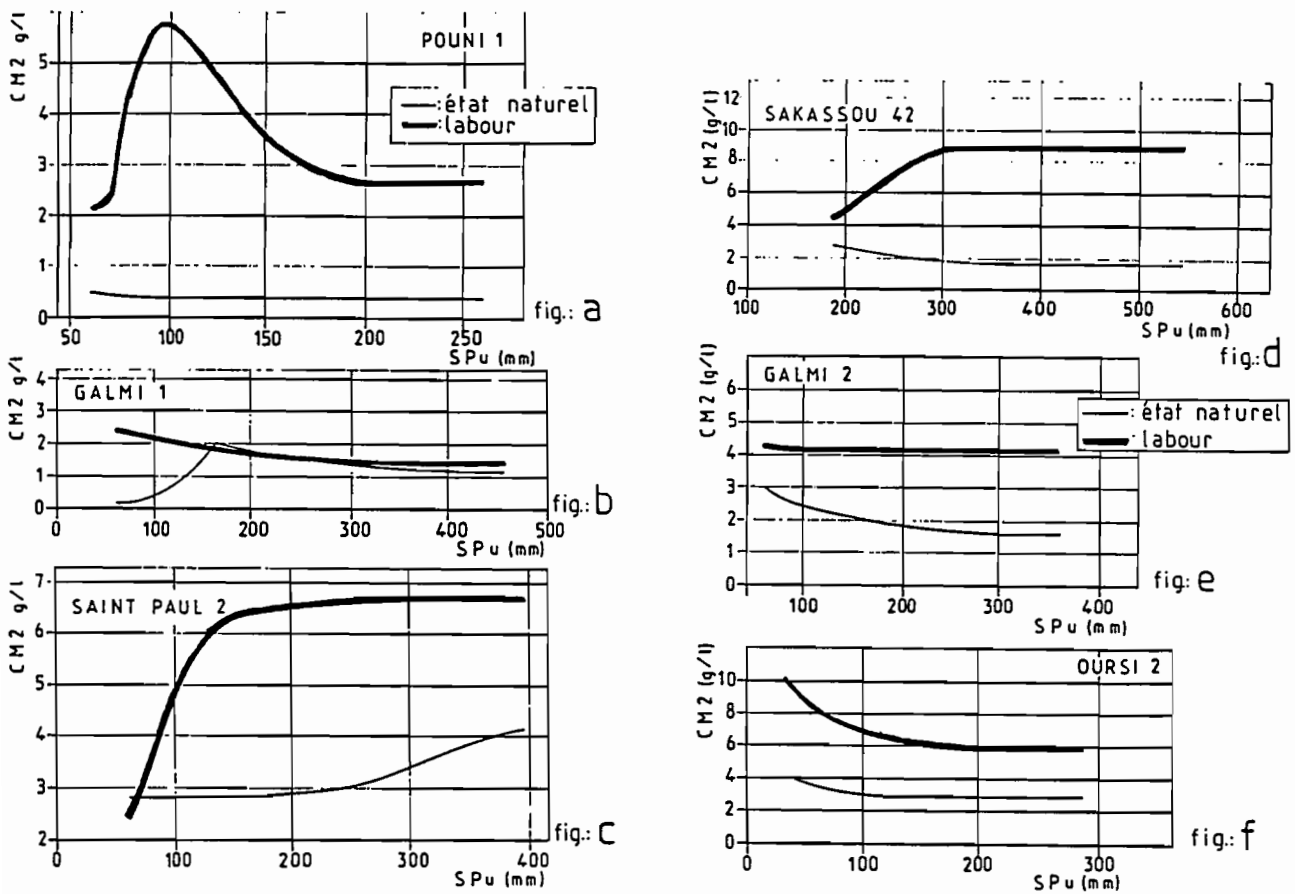


Fig. IV.45.: Comparaison de l'évolution des détachabilités des sols "naturels" et "labourés".

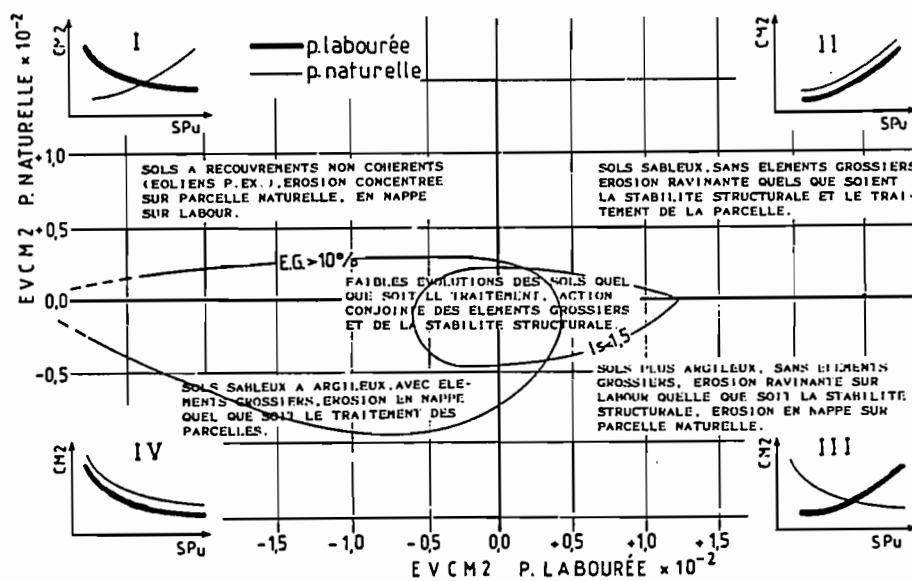


Fig. IV.46.: Classes de comportements érosifs et caractéristiques générales des sols.

TABLEAU LII

Liaison entre les classes d'évolution de l'érosion  
et la distribution des types de turbidigrammes

Classes d'évolution + (cf, fig, IV, 44 et 46)	I	II	III	IV
NAT*	70 N, 30 R**	80 N, 20 R	82 N, 18 R	85 N, 15 R
LAB*	90 N, 10 R	42 N, 58 R	24 N, 76 R	83 N, 17 R

#### Légende

\* : NAT et LAB  $\Rightarrow$  parcelles état naturel (NAT) ou labourées (LAB)

\*\* : N et R  $\Rightarrow$  pourcentages de turbidigrammes prouvant une érosion en nappe (N) ou ravinante (R)  $\Rightarrow$  cf. "typologie des turbidigrammes" § VIII.2.

• Pour ce qui concerne la distribution des sols dans les quatre classes d'évolution de l'érosion (figure IV.46), on constate que leurs caractéristiques intrinsèques interviennent de différentes façons :

• **granulométrie des sols** : si l'on ne prend en compte que ce seul caractère, la liaison avec les classes d'évolution est assez lâche ; les textures les plus sableuses sont surtout représentées dans les classes I, II et III, les textures plus argileuses dans les classes III et IV avec une importante proportion de sols n'évoluant pas en leur état naturel ; en fait, les liaisons plus étroites ne se manifestent essentiellement qu'avec des caractères dérivés de cette granulométrie,

• **charge en éléments grossiers** : les sols à forte charge en éléments grossiers sont plus souvent argileux pour des raisons de paléopédogénèse ; ils se regroupent de part et d'autre de la limite des classes I et IV avec une plus forte concentration vers la classe 0 de non évolution ; il s'agit ainsi de sols à faible vitesse d'évolution en leur état naturel, par contre, leur labour amène des augmentations non persistantes des turbidités,

• **stabilité des structures** : les sols dont l'évolution est surtout commandée par la stabilité de leur structure se regroupent dans une aire symétrique à la précédente, soit de part et d'autre de la limite des classes II et III, les meilleures stabilités de rapprochant de la classe 0 de non évolution.

• **pente topographique** : cette analyse discrimine peu l'influence de l'augmentation de la pente topographique, tout au plus note-t-on que les sols meubles les plus pentus occupent les positions les plus périphériques.

Les sols sableux ne se stabilisent que lorsqu'ils se chargent en éléments grossiers (classe IV), situation cependant rarement réalisée pour les textures les plus grossières ; lorsqu'ils sont dépourvus d'éléments grossiers, l'augmentation de leur stabilité structurale n'amène guère de modification dans

une dégradation qui est rapide et intense et ce, qu'ils soient labourés ou naturels (secteur II).

- les sols plus argileux, soit à partir de 15 % d'argile, se stabilisent de façon proportionnelle à leur charge en éléments grossiers comme dans le cas précédent, mais l'augmentation de leur cohésion n'agit que sur les sols en leur état naturel. Les sols meubles labourés se stabilisent pour des structures médiocres (secteur IV) et se dégradent pour des structures plus stables (secteur III), paradoxe qui a déjà été expliqué précédemment.

### ***X.3. Effets des couverts végétaux sur l'érosion hydrique***

Rappelons que les effets des couverts végétaux ont pu être isolés en zone guinéenne mésophile (SAKASSOU) et ombrophile (TAÏ) où les campagnes de simulation de pluies de saison sèche ont été doublées en saison des pluies, donc en période de développement maximum des couverts végétaux naturels ou cultivés.

Il a été constaté dans le chapitre IX.1.3. que le couvert végétal est à l'origine de modifications hydrodynamiques : il provoque un allongement de la phase d'imbibition donc de l'infiltration et il peut modifier les régimes de ruissellement. Ce deuxième effet est cependant plus difficile à analyser parce que, dans une comparaison s'étendant sur deux saisons, on maîtrise mal les paramètres de situation. L'humectation des sols, ayant notamment permis l'installation de la végétation, est évidemment plus importante que celle des sols dénudés de la fin de saison sèche aussi devient-il difficile de départager l'effet direct du couvert sur l'intensité du ruissellement (atténuation supposée) de celui d'une plus forte saturation préliminaire des sols (augmentation supposée).

Concernant l'érosion, le rôle du couvert végétal peut être double :

- interception de l'énergie des pluies et par conséquent, atténuation de la dislocation des agrégats et du rejaillissement des éléments détachés (effet splash),

- ralentissement du courant de ruissellement, donc diminution de sa compétence et atténuation ou suppression de l'érosion concentrée par rapport à celle d'un sol dénudé qui y serait sensible.

Il convient de vérifier ces hypothèses, d'une part, en considérant les résultats d'érosions globales et, d'autre part, en considérant les évolutions de ces érosions tout au long des averses.

#### ***X.3.1. Les effets des couverts végétaux sur l'érosion globale***

##### **SAKASSOU**

Le tableau LIII présente les pertes en terre cumulées pour des

érosivités de 500 à 625 points sur les sites enherbés par rapport à celles des mêmes sites dénudés de fin de saison sèche.

L'effet protecteur du couvert végétal est extrêmement efficace sur les trois sols avec d'importantes réductions de l'érosion.

Connaissant la pluviosité et le cycle de la végétation du bassin versant, il devient possible d'évaluer, par types de sols, les érosions annuelles.

La savane atteint son développement maximum en octobre, mais le sol est entièrement couvert dès le mois d'août et jusqu'aux brûlis de février, soit pendant 6 mois. Du fait des brûlis, le sol reste dénudé de février à avril ; le couvert se reconstitue ensuite progressivement de mai à juillet amenant une protection croissante du sol et l'on peut évaluer que pendant toute cette période les érosions ne représentent plus que le dixième de celles du sol totalement dénudé par les brûlis.

=====

**TABLEAU LIII**  
**SAKASSOU - Effet du couvert végétal de saison**  
**des pluies sur l'érosion**

SITES	SITUATIONS	SE 500	DIF	SE 625	DIF
1	2	3	4	5	6
SAKASSOU 1	savane haute	0,02	-	0,02	-
	sol dénudé	0,25	x 12	0,35	x 17
	labour	5,00	x 250	5,87	x 290
SAKASSOU 2	savane haute	0,02	-	0,04	-
	sol dénudé	1,05	x 52	2,15	x 54
	labour	13,62	x 680	15,97	x 400
SAKASSOU 3	savane haute	0,05	-	0,06	-
	sol dénudé	1,22	x 24	1,43	x 24
	labour	15,50	x 310	18,65	x 310

**Légende**

- Colonnes 3 et 5 : SE 500 et SE 625 = érosions cumulées en tonnes/hectare pour des érosivités cumulées de pluies en joules/m<sup>2</sup>×mm de 500 points (comparaisons latitudinales) et de 625 points (érosivité annuelle du lieu),
  - Colonnes 4 et 6 : DIF = facteurs de modification des érosions pour les situations considérées par rapport à celles des mêmes sols couverts
- =====

Compte tenu de ces éléments de pondération et des résultats présentés sur le tableau précédent, les érosions moyennes interannuelles devraient atteindre, par site, celles indiquées en colonne 7 du tableau LIV suivant :



TABLEAU LIV

SAKASSOU - Evaluation des érosions annuelles par sites,  
compte tenu de la pluviométrie, du cycle de la végétation et  
des érosions déterminées sous simulation de pluies

SITES	COUV.	MOIS	Pu	E	PC	SE
1	2	3	4	5	6	7
SAKASSOU 1	0 %	Fév. - Avr.	318	0,092	83	
	0 à 100 %	Mai - Juil.	460	0,013	12	0,112
	100 %	Août - Janv.	424	0,007	5	
SAKASSOU 2	0 %	Fév. - Avr.	318	0,569	85	
	0 à 100 %	Mai - Juil.	460	0,082	12	0,665
	100 %	Août - Janv.	424	0,014	2	
SAKASSOU 3	0 %	Fév. - Avr.	318	0,378	83	
	0 à 100 %	Mai - Juil.	460	0,054	12	0,453
	100 %	Août - Janv.	424	0,021	5	

#### Légende

- Colonne 2 : COUV : pourcentages des recouvrements végétaux après les brûlis (0 %) pendant la croissance (0 à 100 %), en pleine saison des pluies (100 %),
- Colonne 3 : MOIS : périodes correspondant aux 3 situations précédentes,
- Colonne 4 : Pu : hauteurs de pluies cumulées pendant ces 3 périodes,
- Colonne 5 : E : érosions partielles (T/ha) calées sur les résultats expérimentaux et pondérées par les hauteurs de pluies des 3 périodes,
- Colonne 6 : PC : répartition des érosions (%)
- Colonne 7 : SE : érosions annuelles pour un site (T/ha/).

Les érosions du début de la saison des pluies représentent près de 85 % des érosions annuelles ; les plus intenses se produisent sur les sols ferrallitiques lessivés et indurés du mi-versant. Il est intéressant de constater que la différenciation de ces sols résulte d'un processus d'auto-développement, surtout lié à la présence d'un horizon d'argiles tachetées peu perméables. Ce processus se décompose de la façon suivante :

- constitution, en début de saison des pluies, d'une nappe perchée au-dessus des argiles tachetées, saturation hydrique plus rapide que celle des autres sols favorisant un ruissellement précoce, donc l'érosion,

- de ce fait, amincissement du profil et induration accélérée des niveaux supérieurs de l'horizon d'argiles tachetées,

- par différence de vitesse entre les dynamiques profondes et superficielles, l'horizon tacheté induré recoupe la surface topographique et constitue le liseré cuirassé du mi-versant,

• cet horizon induré imperméable amène une autre saturation hydrique remontante de l'aval vers l'amont des horizons sus-jacents et l'apparition d'un intense drainage oblique à l'origine de la formation des horizons éluviés sableux, ce qui correspond à l'érosion interne mentionnée dans le chapitre IV.

L'érosion globale au niveau de l'exutoire de ce petit bassin versant peut aussi être évaluée moyennant deux hypothèses :

- transmission totale des éléments érodés jusqu'à cet exutoire et absence des érosions de berge et de lit,
- pondération par les superficies occupées par chaque type de sol en reprenant les travaux de RIEU (1972),

On obtient de la sorte : 25 % de l'érosion provenant du site 1 + 25 % du site 2 + 50 % du site 3 de bas de versant, soit une érosion de 0,5 T/ha/an sur ce bassin versant.

#### TAÏ

La comparaison des situations est, ici, plus limitée car elle ne peut mettre en évidence que l'effet de l'adjonction d'un couvert de riz pluvial sur un sol initialement défriché traditionnellement, c'est-à-dire encore encombré de nombreux débris végétaux et contenant toujours le système racinaire traçant de l'ancienne forêt (tableau LV).

TABLEAU LV

TAÏ - Effet de l'adjonction d'un couvert de riz pluvial sur des sols de défriche forestière traditionnelle

SITES :	SITUATIONS :	SE 500 :	DIF :	SE 1000 :	DIF :
1 :	2 :	3 :	4 :	5 :	6 :
TAÏ 1 :	riz pluvial :	0,12 :	- :	0,29 :	- :
:	sol défriché :	0,11 :	# 0 :	0,54 :	x 2 :
:	labour :	0,25 :	x 2 :	1,80 :	x 6 :
TAÏ 3 :	riz pluvial :	0,12 :	- :	0,24 :	- :
:	sol défriché :	0,34 :	x 3 :	0,73 :	x 3 :
:	labour :	31,59 :	x 260 :	72,78 :	x 300 :

#### Légende

- Colonnes 3 et 5 : SE 500 et SE 1000 = érosions cumulées (T/ha) pour des érosivités cumulées de 500 points (comparaisons latitudinales) et 1000 points (conditions locales).

Sur des sols argileux, gravillonnaires et très pentus de l'amont (TAÏ 1), le riz pluvial apporte une légère protection supplémentaire par rapport au sol défriché traditionnellement. Cet effet est encore plus marqué sur les sols sablo-argileux, meubles, moins pentus de l'aval (TAÏ 3) pourtant beaucoup plus érodables comme le rappellent les valeurs des pertes en terre sur les sols labourés.

Signalons enfin que l'effet du couvert de riz subit assez peu de variations avec le cumul des averses.

L'hypothèse, avancée en introduction, concernant le rôle des couverts végétaux est amplement vérifiée ; il convient maintenant de voir plus en détail sur quelles composantes de l'érosion s'exerce préférentiellement cet effet et pour ce faire, il faut suivre l'évolution des turbidités moyennes CM2 et identifier les types de turbidigrammes orientant ces évolutions.

### *X.3.2. Les effets des couverts végétaux sur les modes d'érosion*

Le tableau LVI regroupe les informations permettant de juger plus particulièrement des différences de détachabilité entre les sols dénudés et couverts, mais aussi l'évolution de cette détachabilité tout au long des averses simulées (SAKASSOU). Comme cela a été précisé précédemment, les comparaisons concernant les deux sites de TAÏ portent sur des situations nettement moins tranchées.

Sur SAKASSOU, la détachabilité des sols recouverts (colonne 3) se réduit de 10 à 35 fois par rapport à celle des sols dénudés à la suite des brûlis. La dissipation de l'énergie des pluies par ce couvert et la diminution de l'effet "splash" en résultant sont importantes : en colonne 7 l'on voit que les sites 1 et 2 présentent des turbidigrammes "plats" de type 6. Sur le site n° 3 de bas de versant s'intercalent par contre environ 50 % de turbidigrammes de type 1 indiquant des pics de turbidités consécutifs à un effet "splash" plus durable sur ces sols sableux couverts.

=====

**TABLEAU LVI**  
SAKASSOU et TAÏ - Modification des modalités de l'érosion  
par l'adjonction d'un couvert végétal

SITES	SITUATIONS	CM2	CM2MAX	CM2MIN	EVOL.	TYTB
1	2	3	4	5	6	7
SAKASSOU 1	savane	0,12	0,12	0,12	2	100 N (6)
	dénudé	1,38	2,57	1,11	1	100 N
SAKASSOU 2	savane	0,39	0,39	0,39	2	100 N (6)
	dénudé	2,33	2,33	2,33	2	80 N - 20 C
SAKASSOU 3	savane	0,05	0,05	0,05	2	100 N (1 - 6)
	dénudé	1,80	2,00	1,50	1	85 N - 15 C
TAÏ 1	riz pluvial	0,24	0,55	0,22	1 - 2	85 N (1-2) - 15 C
	défriche	0,31	0,33	0,10	2 - 4	75 N - 25 C
TAÏ 3	riz pluvial	0,12	0,16	0,11	1 - 2	100 N (1)
	défriche	0,34	0,34	0,34	2	100 N

**Légende**

- Colonne 3 : CM2 = turbidités moyennes pondérées (g/l) pour une érosivité cumulée de 625 points sur SAKASSOU et de 1000 points sur TAÏ,
- Colonne 4 et 5 : CM2MAX et CM2MIN = turbidités moyennes pondérées maximales et minimales repérées sur les graphiques exprimant la relation :  $CM2 = f(SPu)$ ,
- Colonne 6 : EVOL = mode d'évolution de la détachabilité (cf. § X.2.3.)
- Colonne 7 : TYTB = distribution des types de turbidigrammes p.ex. : 100 N (1 - 6) signifie 100 % de turbidigrammes caractéristiques d'une érosion en nappe (N) avec 50 % de type 1 et 50 % de type 6, pas de manifestation d'érosion concentrée (C).

=====

Les manifestations, assez rares, d'une érosion concentrée sur les sols dénudés (sites 2 et 3) disparaissent totalement sous le couvert de la savane et ce, même sur les sols sableux du bas de versant. Il en résulte, sur les trois sites recouverts, une remarquable constance des détachabilités (mode 2) tout au long des averses.

Sur TAÏ, l'adjonction du couvert de riz pluvial limite l'érosion concentrée sur les sols très pentus de l'amont (TAÏ 1) mais sans la supprimer entièrement.

***X.4. Effets des techniques culturales sur l'érosion hydrique***

Rappelons qu'il s'agit des trois façons culturales suivantes :

- billonnages isohypses et longitudinaux pratiqués sur les quatre sites de la géoséquence de GALMI,
- buttages cloisonnés et paillage sur labour des quatre sites de POUNI, BATANGA et LOUMBILA,
- buttage simple pratiqué sur les deux sites de TAÏ.

Ces différentes techniques visent les deux objectifs suivants :

- ameublissement du sol,
- élimination des adventices et enfouissement des débris végétaux,
- création d'une rugosité importante permettant d'allonger les périodes de stockage des eaux de pluie et de ruissellement.

Leurs effets sur la physique des sols rejoignent, dans certains cas, celles d'un simple labour à plat :

- modification de la texture superficielle liée à la profondeur du travail du sol,
- ouverture d'une macroporosité artificielle,
- destruction des organisations pelliculaires,
- modification de la charge en éléments grossiers soit par brassage et enfouissement des concentrations superficielles (diminution de cette charge), soit par mise en affleurement de niveaux d'éléments grossiers initialement enfouis (augmentation de la charge).

Cependant, par rapport au labour à plat, ces techniques modifient fortement la **géométrie** des champs et notamment l'inclinaison des plans d'impact des gouttes de pluies ; elles changent les régimes d'infiltration par accentuation de l'hétérogénéité des charges hydrauliques entre les zones exondées et submergées ; elles augmentent enfin la masse de terre mobilisable par l'érosion dans des proportions liées à celles d'un coefficient de modification de la surface spécifique des champs.

Comme l'érosion est aussi la conséquence des ruissellements, on rappellera enfin succinctement quelles furent les principales modifications hydrodynamiques constatées :

- d'une façon générale, on observe un allongement de la phase d'imbibition ( $P_i$  mm) ainsi qu'une augmentation des intensités limites d'infiltration ( $F_n$  mm/h),

- l'amplitude de ces effets est cependant variable et dépend des techniques utilisées et des caractéristiques du sol :

- le billonnage est l'opération la plus efficace bien qu'intervenant surtout sur un allongement de la phase d'imbibition, cette amélioration de l'infiltration étant plus durable sur les sols sableux jusqu'à des pentes n'excédant pas 4 % (GALMI 1 et 3), cette limite de pente devant par contre être abaissée sur les sols plus argileux (GALMI 2 et 4),

- le labour paillé arrive en seconde position d'efficacité en agissant sur  $P_i$  et sur  $F_n$ , de façon conjointe sur les sols aux structures les plus résistantes, son efficacité s'amenuise par contre sur les sols argileux et surtout sur ceux dont les structures sont chimiquement dégradables (BATANGA 1 et POUNI 3),

- les buttages simples et cloisonnés présentent souvent des efficacités médiocres surtout du fait du colmatage des interbuttes accentué par l'augmentation de la surface spécifique du champ ; les "effets  $P_i$ ,  $F_n$ " ne s'additionnent que sur les sols sableux gravillonnaires et peu pentus (LOUMBILA 1), seul subsiste l'effet " $P_i$ " sur les sols de texture plus fine et peu pentus (POUNI 3) mais il est fugace ; ces techniques n'apportent, par contre, aucune amélioration sur les sols très pentus, fussent-ils gravillonnaires, car ils sont déjà très perméables sous des labours à plat (TAÏ 1 et POUNI 1).

#### *X.4.1. Les effets du billonnage*

Ses effets seront comparés à ceux d'un labour à plat, d'abord en ce qui concerne les **érosions globales** limitée à une érosivité de pluies de 300 points correspondant aux conditions locales, ensuite en considérant les **évolutions des turbidités moyennes pondérées** pour pouvoir identifier toutes modifications dans les composantes de l'érosion.

Les billonnages sur GALMI ont des orientations aléatoires lorsqu'il s'agit de sols sableux, ils sont par contre uniquement effectués selon les courbes de niveau sur les sols plus argileux. Les parcelles ont été disposées de telle sorte qu'elles permettent de tester les comportements de deux

orientations extrêmes : allongement selon la ligne de plus grande pente (parcelles "longitudinales") et billonnage isohypse. Les essais portent sur des anciens billonnages (jachères) et sur des billonnages récents effectués sur des sols ressuyés. Les données issues de ces différents essais sont regroupés sur le tableau LVII.

=====

**TABLEAU LVII**  
GALMI - Effets du billonnage sur l'érosion hydrique

SITES	SITUATIONS	SEV	NOUVEAUX TRAVAUX		ANCIENS TRAVAUX	
			SE	DIF	SE	DIF
GALMI 1	L	300	-	-	2,58	-
	ABL	300	-	-	3,98	x 1,5
	ABI	300	-	-	0,47	x 0,2
	NBL	175	2,16	x 1,6	-	-
GALMI 2	L	300	-	-	5,90	-
	ABI	300	-	-	8,04	x 1,4
	NBI	175	4,34	x 1,3	-	-
GALMI 3	L	300	-	-	7,50	-
	ABL	300	-	-	6,91	x 0,9
	ABI	300	-	-	8,14	x 1,1
	NBL	175	4,67	x 0,9	-	-
	NBI	175	5,77	x 1,1	-	-
GALMI 4	L	300	-	-	7,25	-
	ABI	300	-	-	4,25	x 0,6
	NBI	175	4,45	x 1,0	-	-

#### Légende

- Colonne 2 : Situations : situations expérimentales avec L = labour, ABL = anciens billons longitudinaux, ABI = anciens billons isohypses, NBL = nouveaux billons longitudinaux, NBI = nouveaux billons isohypses.
- Colonne 3 : SEV : érosivités cumulées en joules/m<sup>2</sup> x mm, arrêtées à 300 points pour les anciens travaux (conditions pluviométriques locales) et uniformisées à 175 points pour les nouveaux travaux,
- Colonnes 4 et 6 : SE : érosions cumulées en tonnes par hectare,
- Colonnes 5 et 7 : modification de l'érosion par rapport au labour de référence.

=====

A l'échelle des parcelles, ces résultats justifient les commentaires suivants :

- les sols **sableux peu pentus** (GALMI 1) présentent d'importantes variations de leurs érosions selon l'orientation des billons, ces différences

s'expliquent de la façon suivante : l'érosion est en effet plus importante sur les anciens billons longitudinaux ( $\times 1,5$ ) et plus faible sur les anciens billons isohypses ( $\times 0,2$ ) ; elle se stabilise ou décroît avec le cumul des averses sur les billons récemment levés ( $\times 1,6$  à  $\times 1,5$ ), mais on ne dispose malheureusement que des résultats concernant les billonnages longitudinaux,

- les sols **sableux pentus** (GALMI 3) présentent beaucoup moins de différences d'érosion par rapport au labour à plat et ce, quelle que soit l'orientation du billonnage ( $\times 0,9$  et  $\times 1,1$ ) ; on notera aussi que les nouveaux travaux n'amènent aucune dégradation supplémentaire et qu'il y a même stabilisation avec le cumul des pluies,

- les sols **plus argileux, peu pentus** (GALMI 4), uniquement travaillés en billons isohypses, voient une diminution importante de l'érosion et une nette stabilisation avec le cumul des averses ( $\times 1,0$  à  $0,6$ ),

- les sols **plus argileux, pentus** (GALMI 2), présentent, par contre, un processus inverse avec des érosions d'emblée plus importantes sur les nouveaux travaux et une poursuite de la dégradation avec le cumul des pluies ( $\times 1,3$  à  $1,4$ ).

Si l'on se place maintenant à l'échelle des **associations de champs** sur chaque portion de versant, la bonne adéquation des habitudes culturales traditionnelles avec les caractéristiques du milieu se confirme :

- sur le plateau (GALMI 1) où toutes sortes d'orientations de billons existent, l'érosion moyenne, déduite des données précédentes, devient légèrement inférieure à celle de champs labourés à plat. Mais on a vu que c'est surtout pour les gains d'infiltration que ces techniques sont intéressantes, car elles permettent, en année normale, un développement plus rapide des cultures et ont des effets secondaires sur la conservation des sols (interception des pluies),

- sur les versants envahis par les dépôts sableux anciens (GALMI 3), les différences d'érosion liées aux orientations des billons s'estompent et l'intensité des érosions ne dépasse pas, en moyenne, celle d'un labour à plat ; on rejoint les résultats précédents puisque les infiltrations restent améliorées sur des pentes n'excédant pas 3,5 %,

- sur les versants plus argileux (type GALMI 2), le billonnage isohypse peut limiter l'érosion jusqu'à des pentes de 2 %. Au-delà de 3 % elle pourrait augmenter dangereusement, or l'on constate qu'il n'existe effectivement pas de champs sur sols argileux dépassant cette pente critique.

L'ensemble de ces observations peut se résumer de la façon suivante :

- sur les sols sableux, le billonnage intervient directement sur l'amélioration de l'infiltration et moins nettement sur une limitation directe de l'érosion. Cependant, l'établissement rapide des couverts végétaux, trouvant de meilleures conditions hydriques, favorise la conservation des sols,

- sur les sols plus argileux, le billonnage strictement isohypse intervient directement sur l'amélioration de l'infiltration et aussi sur la limitation de l'érosion à condition que les pentes restent faibles,

• les sols sableux peuvent être billonnés avec profit sur des pentes plus importantes que les sols argileux,

• il existe cependant des inclinaisons limites distinctes pour l'érosion et pour l'infiltration : sur champs sableux, l'amélioration de l'infiltration cesse à 3,3 %, et l'érosion ne devient préoccupante qu'au-delà de 3,8 %, sur les champs argileux, l'amélioration de l'infiltration est effective jusqu'à 3,1 % de pente et, par contre, l'érosion augmente fortement au-delà de 2,0 %.

#### X.4.2. Les évolutions comparées des détachabilités des sols billonnés

L'origine des variations de l'érosion, par rapport au labour de référence, peut être précisée en analysant, d'une part, les évolutions des détachabilités et, d'autre part, en identifiant les modalités de ces érosions en suivant la succession des types de turbidigrammes résultant d'averses individuelles. Le tableau LVIII regroupe les informations nécessaires à cette analyse.

=====

**TABLEAU LVIII**  
GALMI - Modification des modalités de l'érosion liée  
au billonnage des sols

SITES 1	SITUATIONS 2	CM2 3	CM2MAX 4	CM2MIN 5	EVOL 6	TYTB 7
GALMI 1	L	1,89	2,50	1,70	1	85 N (1) - 15 C
	ABL	3,37	6,60	3,25	1	50 N (1) - 50 C (5)
	ABI	1,92	2,00	0,01	4	10 N (6) - 90 C (5)
	NBL	-	6,01	4,78	1	100 N (1)
GALMI 2	L	4,18	-	-	2	100 N (1)
	ABI	5,27	8,80	5,15	1	100 N (1)
	NBI	(4,80)	-	-	2	80 N (1) - 20 C (5)
GALMI 3	L	4,31	6,45	3,80	1	80 N (1) - 20 C (5)
	ABL	4,21	5,00	3,25	4	60 N (1) - 40 C (3)
	ABI	4,87	9,65	5,45	1	atypiques
	NBL	-	7,80	6,46	3	100 N (1)
	NBI	-	8,90	7,40	3	atypiques
GALMI 4	L	5,36	6,50	5,00	4	70 N (1) - 30 C (3)
	ABI	7,65	5,24	5,24	1	100 N (1)
	NBI	-	11,90	6,1	1	80 N (1) - 20 C (3)

#### Légende

- Colonne 2 : cf. tableau LVII
  - Colonne 3 : CM2 - turbidités moyennes pondérées pour une érosivité cumulée de 300 points,
  - Colonnes 4 et 5 : CM2MAX et CM2MIN : turbidités moyennes pondérées maximales et minimales repérées sur les graphiques de l'expression :  $CM2 = f(S_{Pu})$
  - Colonne 6 : EVOL : mode d'évolution de la détachabilité (cf. § X.2.3.)
  - Colonne 7 : TYTB : distribution des types de turbidigrammes (cf. tableau LVI).
- =====



Le mode d'action des billonnages est illustré sur les graphiques de la figure IV.47 regroupant, par site, les évolutions des turbidités moyennes représentatives des détachabilités tout au long des averses sur les billons anciens, récents et sur le labour de référence.

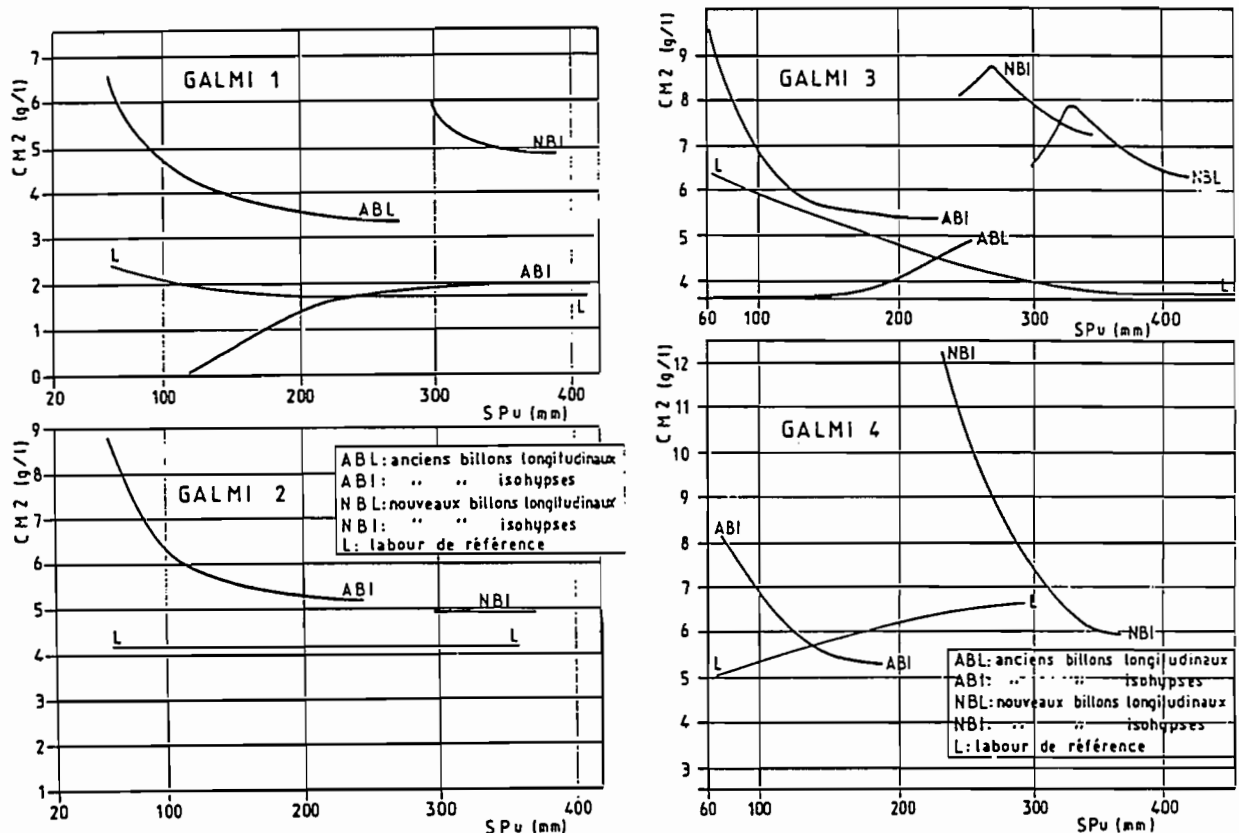


Fig. IV.47.: Comparaison de l'évolution des détachabilités des sols billonnés de GALMI.

#### ANCIENS BILLONS

Sur les anciens billons, le rôle de la pente paraît fondamental car il inverse les modes d'évolution liés aux deux orientations du billonnage. La comparaison, portant sur GALMI 1 et 3, montre que la détachabilité du sol se stabilise sur les billonnages longitudinaux des sols les moins pentus (GALMI 1), mais qu'il y a, par contre, **dégradation** pour la même orientation, sur les plus fortes pentes du versant (GALMI 3). C'est **exactement l'inverse** qui se produit sur les billonnages isohypses.

Enfin, on remarque qu'il n'existe pas de relation entre les **détachabilité** (colonne 3) et les **modes d'évolution** (colonne 6).

La combinaison de ces informations, étayées par des observations de terrain pendant les averses permet d'expliquer tous les comportements :

### Billons longitudinaux

Comme cela a déjà été précisé dans le chapitre IX.1.4., le ruissellement se canalise rapidement dans les interbillons ce qui n'a d'ailleurs rien de surprenant. Sur les **faibles pentes** (GALMI 1 - ABL), l'intensité du ruissellement reste trop faible pour inciser la parcelle, ce qui se produit par contre sur les **plus fortes pentes** (GALMI 3 - ABL). Dans les deux cas, les turbidités sont élevées parce que l'épaisseur des lames ruisselantes détenues en surface est trop faible pour intercepter l'énergie des pluies. Pour cette raison, l'effet splash peut s'exercer sur les différents segments du micromodelé (sommets et flancs des billons) et les turbidités sont plus élevées sur les fortes pentes puisqu'il y a alors adjonction de l'effet du ravinement. Les sols sableux présentent une assez bonne tenue à l'érosion malgré cette composante ravinante car les portions de sol exondées acquièrent une cohésion avec la formation de pellicules superficielles dont les organisations seront détaillées ultérieurement.

### Billons isohypses

Le billonnage isohypse favorise l'accumulation de l'eau dans les interbillons, cette accumulation se généralise plus ou moins rapidement et s'y maintient plus ou moins durablement. Sur les **faibles pentes** (GALMI 1 - ABI), cette accumulation est progressive et reflète les hétérogénéités des conductivités hydrauliques du sol déterminant la saturation des horizons. Les premiers ruissellements ne proviennent que de l'aval de la parcelle, et ce n'est qu'en fin de protocole que la totalité de cette parcelle participe au ruissellement. Les éléments détachés ne parviennent à l'exutoire que par les débordements successifs, progressifs, "remontant", de l'aval vers l'amont des lames d'eau et des sédiments retenus dans les interbillons. Il est donc normal que, selon ce processus, les turbidités augmentent jusqu'à une valeur palier et que la succession des turbidigrammes déterminent une évolution générale de mode 4.

Sur les **plus fortes pentes** (GALMI 2, 3, 4 - ABI), le remplissage des interbillons intervient plus rapidement car l'effet de la pente se manifeste avant celui des caractéristiques hydrauliques des sols. Les ruptures des interbillons et l'ouverture de seuils sont plus fréquents à cause d'une plus grande vitesse du courant de ruissellement. La submersion des interbillons est d'emblée plus homogène et générale. Les éléments détachés dès les premières averses ne s'accumulent pas, ils sont entraînés de façon continue jusqu'à l'exutoire. Il en résulte, tout au long des averses, une diminution progressive de la turbidité moyenne jusqu'à une valeur palier sensiblement supérieure à celle des sols labourés à plat.

Les turbidités maximales (colonne 4) correspondent aux éléments provenant de la rupture des interbillons, les valeurs minimales sans grandes variations de la hauteur de la lame ruisselante donc sans grandes variations de l'interception. On remarquera que les érosions sont plus élevées sur les sols argileux car, à compétence constante du courant, ces derniers fournissent plus d'éléments exportables (suspension) et aussi parce que leur détachabilité

est plus importante que celle des sols sableux lorsqu'ils se trouvent dans des conditions de submersion partielle.

### NOUVEAUX BILLONS

Les nouveaux billonnages fournissent des turbidités moyennes largement supérieures à celles des labours à plat et l'on a vu qu'il en était de même des érosions globales (tableau LVII) parce que leurs ruissellements rejoignent, dès la seconde averse, ceux des sols simplement labourés. Ces résultats viennent contredire ce que laissaient supposer les hypothèses émises en introduction du chapitre IX.1.4. et que nous résumons ici :

- diminution de l'érosivité des pluies par inclinaison des plans d'impact des pluies (effet cosinus) dans des proportions égales au rapport des surfaces de parcelle développées sur les surfaces projetées,

- donc augmentation de la conductivité hydraulique sur les flancs de billons moins sujets au colmatage que les zones horizontales.

Il apparaît donc, au moins sur les sols cultivés de la géoséquence de GALMI, que la diminution d'érosivité liée aux modifications de la géométrie des surfaces est insuffisante pour limiter la détachabilité des sols avant qu'ils ne soient protégés par le couvert végétal. Dans une fourchette de structures uniformément instables, c'est l'augmentation de la surface spécifique des champs billonnés qui fait la différence entre un labour à plat et un billon et non pas l'inclinaison des plans d'impact.

Les turbidités des sols nouvellement billonnés tendent à diminuer selon des évolutions de modes 1 ou 3 et ce, quelles que soient les orientations des billons, sauf sur GALMI 2 où ces turbidités restent constantes et proches d'ailleurs de celles du labour de référence. Les turbidités minimales tendent à rejoindre celles des sols anciennement billonnés ; ce processus est rapide pour les structures les plus instables (GALMI 4), il est plus progressif pour les structures les moins instables (GALMI 1).

#### *X.4.3. Les effets des autres techniques culturales*

L'analyse des effets du labour de référence et du billonnage portait d'évolutions détectées à l'issue d'un train d'averses sur les différentes parcelles. Les effets du buttage et du paillage ne peuvent par contre être analysés que pour des **averses unitaires**.

Buttage simple, buttage cloisonné, paillage d'un labour ont été pratiqués sur les sols des sites de POUNI, BATANGA, LOUMBILA, TAÏ dont certaines caractéristiques sont rappelées dans le tableau LIX.

**TABLEAU LIX**  
POUNI, BATANGA, LOUMBILA, TAY : rappel de  
quelques caractéristiques des sols et de l'environnement

SITES	TOPOGR.	PENTE	ROCHE	EG	ARG.	CLASS.
1	2	3	4	5	6	7
POUNI 2	mi-versant	2,5	schiste	69,8	32,2	Ferrug. tropic.
POUNI 3	bas-versant	0,9	schiste	3,2	25,8	Ferrug. tropic.
BATANGA 1	bas versant	0,5	chloritosch.	2,5	31,2	Brun trop. vertiq.
LOUMBILA 1	prox. sommet	1,4	granite	10,2	10,3	Peu évol. éros.
TAY 1	prox. sommet	19,8	granite	59,0	38,3	Ferrall. désat.
TAY 3	bas versant	7,3	granite	0,0	25,1	Ferrall. désat.

**Légende**

- Colonne 3 : pente topographique en %
- Colonnes 5 et 6 : charge en éléments grossiers (% pondéral) et taux d'argile (% pondéral) de la terre labourée sur 15 cm.

Les effets de ces différentes façons culturales sur l'érosion sont résumés sur le tableau LX. Les turbidigrammes et solidigrammes correspondant sont représentés sur les figures IV.48., 49. et 50. Pour chaque site, un rappel des effets de contraintes climatiques identiques sur le labour de référence permet d'établir toutes comparaisons. Les dimensions des différentes façons culturales ont déjà été représentées sur la figure IV.30.

**TABLEAU LX**  
POUNI, BATANGA, LOUMBILA, TAY  
Effets d'un buttage cloisonné (BC), d'un buttage simple (BS)  
d'un labour paillé (LP) sur l'érosion ; comparaisons avec les  
effets d'un labour à plat de référence (LR).

SITES	SITUAT.	IM	KR1	CM1	TYTB	CS	CX
1	2	3	4	5	6	7	8
POUNI 2	LR		4,0	0,60	1	0,70	0,20
	BC	# 60	4,6	2,14	5	-	-
	LP		11,3	0,65	2	1,60	-
POUNI 3	LR		80,0	4,50	1	5,20	3,20
	BC	# 60	25,6	5,80	4	9,4 - 8,2	5,70
	LP		16,7	2,18	1	3,60	2,70
BATANGA 1	LR		80,0	8,50	1	14,50	6,50
	BC	# 90	27,4	1,76	1	12,00	7,00
	LP		22,2	2,74	1	4,20	0,60
LOUMBILA 1	LR		42,9	1,54	1	2,90	1,60
	BC	# 60	8,3	0,12	0	-	-
	LP		0,4		érosion insignifiante		
TAY 1	LR	# 60	34,8	1,12	1	1,80	1,20
	BS		28,1	2,34	1	4,60	2,20
TAY 3	LR	# 60	69,7	15,30	1 - 2	18,00	(15,00)
	BS		38,9	3,18	1	5,70	2,90

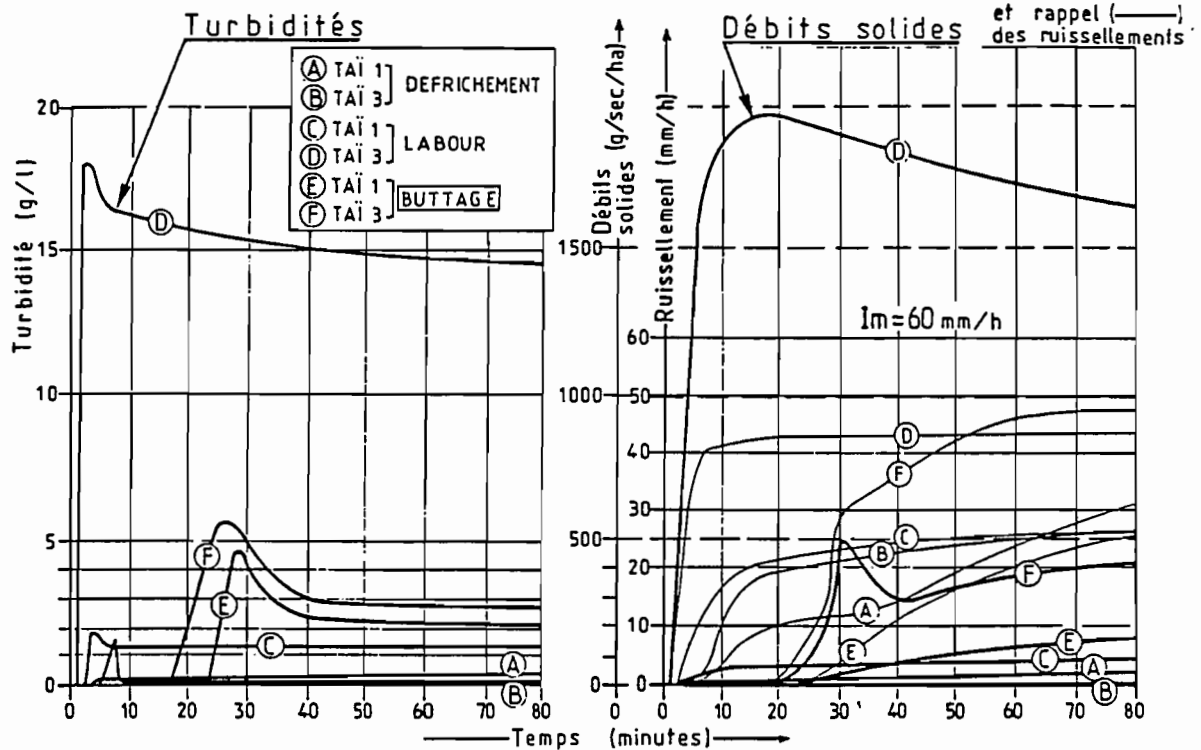


Fig. IV.48.: Effet du buttage simple sur l'érosion (TAÏ, averses unitaires).

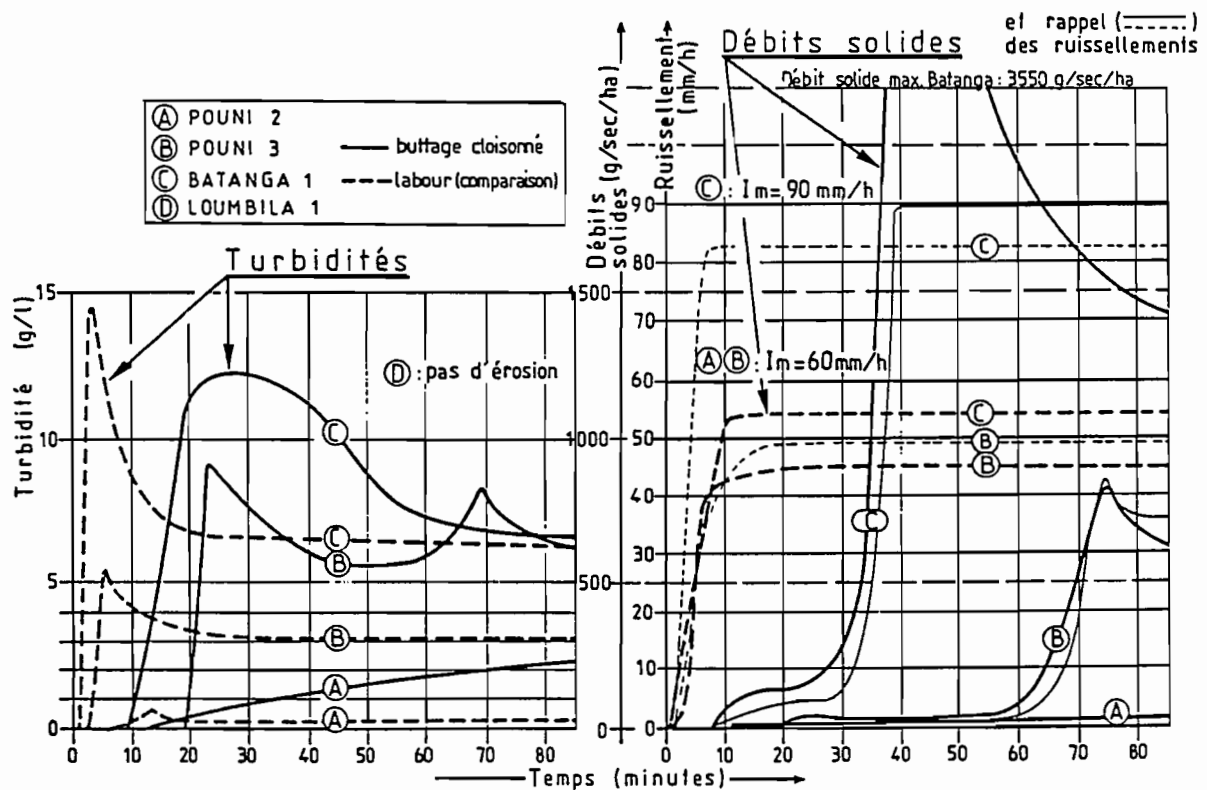


Fig. IV.49.: Effet du buttage cloisonné sur l'érosion (POUNI, BATANGA, LOUMBILA, averses unitaires).

**Légende**

- Colonne 3 : IM : intensité moyenne de l'averse en mm/h,
  - Colonne 4 : KR1 = coefficient de ruissellement de l'averse unitaire en %,
  - Colonne 5 : CM1 = turbidité moyenne de l'averse (Erosion/10 x lame ruisselée) en g/l, avec E en kg/ha et L en mm,
  - Colonne 6 : TYTB = typologie des turbidigrammes (cf. fig. IV.3.)
  - Colonnes 7 et 8 : CS et CX = pic et palier de la turbidité en g/l.
- =====

**BUTTAGE SIMPLE**

Si l'on considère l'érosion globale, on constate que l'effet du buttage est nul ou même légèrement néfaste sur les sols gravillonnaires (TAÏ 1) ; il devient par contre très efficace sur les sols meubles dépourvus d'éléments grossiers (TAÏ 3) où l'érosion est divisée par 9 par rapport à celle du labour à plat. Ceci résulte de la conjonction d'une diminution du ruissellement pour des causes déjà expliquées par les modifications de  $P_i$  et  $F_n$  et d'un abaissement de la détachabilité au niveau des pics et des paliers des turbidités (comparaison des courbes D et F sur la figure IV.48.). Les raisons de cette diminution des turbidités sont à rattacher à l'angle d'impact des gouttes ("effet cosinus") sur les flancs très inclinés des buttes où l'énergie cinétique se dissipe sur une surface projetée approximativement 1,3 fois plus petite que la surface développée. Sur les sols de l'amont (TAÏ 1), cette dissipation se produit déjà sur les affleurements gravillonnaires, aussi l'effet cosinus n'apporte-t-il pas ou apporte-t-il peu de modifications (comparaison des courbes C et E de la figure IV.48.). Il existe cependant des angles limites résultant d'autres façons culturales en deçà desquels les modifications des érosivités des pluies deviennent insignifiantes ; c'est ce qui avait été constaté sur les billons de GALMI dans le paragraphe précédent.

**BUTTAGE CLOISONNÉ**

Son efficacité est également importante sur tous les sols dépourvus d'éléments grossiers (POUNI 3, BATANGA 1) mais ce buttage ne modifie pas de façon significative l'érosion déjà faible des sols gravillonnaires (POUNI 2, LOUMBILA 1). L'analyse des courbes de la figure IV.49. démontre cependant un comportement différent de celui du buttage simple : les turbidités restent en effet plus élevées que celles du labour à plat et les érosions sont surtout limitées, ici, par les diminutions du ruissellement.

En fait, le cloisonnement de la parcelle n'amène qu'un retard dans la manifestation de différents processus : l'atténuation de l'érosivité consécutive à l'inclinaison du plan d'impact se produit comme dans le cas précédent mais son résultat n'est pas immédiatement perceptible puisque les éléments détachés s'accumulent d'abord dans les cuvettes des interbuttes. Les décharges soudaines de ces microcolluvions, lors des ruptures en chaîne des diguettes, dissimulent donc les détachabilités réelles sur les buttes. Ces ruptures en chaîne des microretenues augmentent également brutalement la vitesse du courant de ruissellement avec la conséquence prévisible de tout changement brutal de cette vitesse qui est l'apparition d'une composante ravinante (turbidités de type 3

ou 4 sur POUNI 3 p. ex.). L'efficacité de ce traitement sera, plus que tout autre, liée aux caractéristiques pluviométriques et notamment aux intensités des averses ce qui apparaît nettement à la comparaison des solidigrammes de POUNI 3 (60 mm/h) et de BATANGA 12 (90 mm/h).

### LABOUR A PLAT PROTEGE PAR UN PAILLAGE

Par rapport aux autres traitements, son efficacité est maximale. Mais comme le paillage agit à la façon d'un couvert en interceptant l'énergie des pluies, on comprendra qu'il puisse être moins utile, d'une part, sur les sols très gravillonnaires déjà protégés contre le splash (POUNI 2), d'autre part, sur les sols à structure chimiquement dégradable et à argile gonflante (BATANGA) où c'est plus l'humectation que le choc des gouttes qui est à l'origine de la désagrégation des mottes (VALENTIN, 1981 ; COLLINET, VALENTIN, 1984). Enfin, on constate, sur la figure IV.50, que cette diminution de l'érosion globale résulte de l'atténuation du ruissellement et aussi d'une diminution des turbidités.

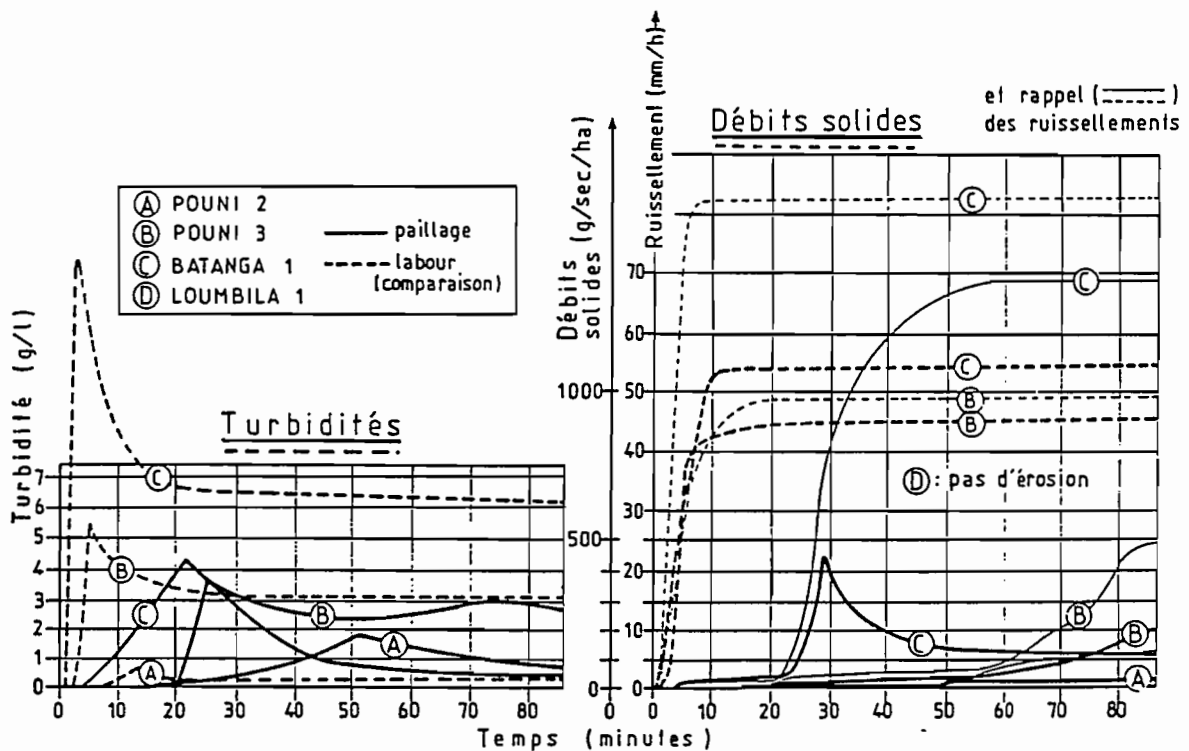


Fig. IV.50.: Effet du paillage sur l'érosion (POUNI, BATANGA, LOUMBILA, averses unitaires).





## CHAPITRE XI

### L'INTEGRATION DES DIFFERENTS FACTEURS DE L'EROSION HYDRIQUE, PROBLEME DU CLASSEMENT DES ERODIBILITES ; L'EQUATION DE PREVISION DES PERTES EN TERRE DE WISCHMEIER ET SMITH.

#### ***XI.1. L'équation de prévision des pertes en terre de WISCHMEIER et SMITH***

L'histoire agricole des Etats-Unis fut jalonnée de déboires au fur et à mesure que progressaient les fronts pionniers sur des terres nouvellement colonisées, défrichées, surexploitées puis abandonnées. Ce fut par exemple le cas, au dix-huitième siècle, des piémonts des Appalaches totalement érodés en un siècle et demi par les cultures sarclées établies au dépens des forêts naturelles. Ce fut ensuite le cas des plaines des Etats du Centre-Nord et ceci a duré tant que ne se posèrent pas les problèmes de limitation de superficies exploitables. Il fallut attendre le début du vingtième siècle et plus précisément les conséquences de la sécheresse des années 1929 et 1930 pour que le "bowl dust" devienne le symbole de l'exploitation imprudente des terres avec ses conséquences sociales dramatiques pour de très nombreux américains (\*).

En 1933, fut créé le Service de la Conservation du Sol afin d'aider les agriculteurs américains à appliquer sur leurs terres des mesures de conservation permanentes et efficaces. Des recherches en ce sens furent progressivement menées par des agronomes qui s'appuyèrent sur les données fournies par une soixantaine de stations expérimentales réparties dans plus de vingt Etats. Vers les années 1950, les parcelles d'érosion pouvaient fournir quelque 10 000 données par an ; elles se multiplièrent encore et gagnèrent en précision avec l'utilisation de différents modèles de simulateurs de pluies dans 16 Etats à partir de 1960.

Les travaux de WISCHMEIER, SMITH, UHLAND (1958) ; WISCHMEIER (1959) ; WISCHMEIER et SMITH (1960, 1965, 1978) permirent, sur la base de traitements statistiques, d'établir une équation exprimant les pertes en terres en liaison avec 4 facteurs conditionnels qui sont :

---

(\*) remarquablement décrites par STEINBECK dans "Les raisins de la colère" (1939)

- les caractéristiques énergétiques des précipitations,
- la topographie,
- la nature et la densité du couvert végétal,
- les techniques culturales.

Cette équation de prévision des pertes en terre se présente de la façon suivante :

$$A = R (K. L. S. C. P.)$$

avec :

• A = pertes en terre en tonnes US par acre (A en unités internationales = 2,242 A en unités américaines),

• R = index pluie caractérisant l'agressivité, ou érosivité, de la pluie, soit pour une averse unitaire, soit pour un ensemble d'averses ; on utilise le plus souvent un index R moyen annuel calculé sur plusieurs années. C'est le seul terme de l'équation qui ait une dimension. Pour une averse donnée, le nombre d'unité R est égal à l'énergie cinétique de la pluie (en pieds.tonnes/acre) multiplié par l'intensité maximale en 30 minutes (exprimée en pouces/heure) et divisée par 100 :

$$R = E_g \times IM / 100$$

l'énergie d'une pluie s'obtient en fractionnant le pluviogramme en tranches d'égales intensités  $I_h$ . Sur celles-ci sont déterminées les énergies cinétiques unitaires  $E_u$  qui sont liées aux intensités homogènes  $I_h$  par la relation :

$$E_u = 916 + 331 \log I_h.$$

De façon pratique, pour chaque tranche de hauteur de pluie ayant une intensité homogène, on lit, sur un abaque, l'énergie  $E_u$  par millimètre de pluie tombée, l'énergie de la tranche de pluviogramme  $E_h$  est alors :

$$E_h = E_u \times \text{hauteur de la tranche en millimètres}$$

l'énergie de l'averse est alors :

$$E_g = \sum E_h$$

Transposé dans le système international (S.I.), l'index R (américain) en pieds-tonne américaine x pouce / acre x heure est

$$R(S.I.) = 1,702 R \text{ (américain)}$$

• K = indice sol, ou indice d'érodibilité du sol mesurant sa résistance à l'érosion exprimée en tonnes américaines par acre et par unité d'érosivité R lorsque tous les autres facteurs sont égaux à l'unité,

$$K(S.I.) = 1,313 K \text{ (américain)}$$

l'appréciation de l'érosion des terres américaines rapportée aux indices K est la suivante :

- \*  $K \leq 0,05$  : sol très peu érodible,
- \*  $0,05 < K < 0,1$  : sol faiblement érodible,
- \*  $0,1 < K \leq 0,2$  : sol moyennement érodible,
- \*  $0,2 < K \leq 0,4$  : sol fortement érodible,
- \*  $K > 0,4$  : sol très fortement érodible.

\*  $L \cdot S$  = **indice topographique** caractérisant à la fois la longueur et l'inclinaison de la portion de versant. Ce facteur, sans dimension, caractérise les pertes en terre d'une parcelle quelconque par rapport à une parcelle standard de 22,12 m de longueur et de 9 % de pente, les autres conditions étant égales par ailleurs. Les valeurs couplées de  $S$  et  $L$  sont données par un abaque basé sur la proportionnalité entre ce coefficient  $L \cdot S$ , la racine carrée de la longueur du versant et une fonction du second degré de l'inclinaison de la pente :

$$L.S. = L/100 (0,076 S^2 + 0,53 S + 0,76)$$

avec  $L$  = longueur de la portion de versant en pieds  
et  $S$  = inclinaison de la pente en %

\*  $C$  = **indice de culture**, sans dimension, il caractérise l'effet protecteur du couvert végétal, il tient compte de la nature et de la succession des cultures, il fournit une appréciation sur le degré de fertilisation minérale ou organique. C'est le rapport des pertes en terre d'un sol cultivé dans des conditions définies par rapport à celle d'une jachère continuellement labourée dans le sens de la pente et sans amendement organique pendant 3 ans et où  $C = 1$ ,

\*  $P$  = **indice de conservation de l'eau et du sol**, encore dénommé "indice CES", caractérise toutes mesures de protection amenant une rugosité artificielle (p. ex. billons). C'est le rapport des pertes en terre d'un champ sur lequel on applique des mesures conservatrices à celles d'un champ cultivé selon les normes précédentes ( $P = 1$ ), toutes autres conditions étant égales par ailleurs.

L'érodibilité maximale d'un sol (indice sol  $K$ ) s'obtient selon des conditions très standardisées. La parcelle de référence est décrite dans l'article de WISCHMEIER et SMITH de 1978 de la façon suivante : "A unit plot is 72,6 ft. long, with an uniform lengthwise slope of 9 percent, in continuous fallow, tilled up and down the slope. Continuous fallow for this purpose, is land that has been tilled and kept free of vegetation for more than 2 years. During the period of soil loss measurements, the plot is plowed and placed in conventionnal corn seedbed condition each spring and is tilled as needed to prevent vegetative growth and severe surface crusting. When all of these conditions are met,  $L$ ,  $S$ ,  $C$  and  $P$  each equal 1,0 and  $K$  equals  $A/R$ ".

Cette formule initialement présentée comme "l'équation universelle de pertes en terre" (1960) est devenue depuis 1978, plus modestement, "l'équation de prévision des pertes en terre". Cette modification traduit les limites d'utilisation de cette formule d'ailleurs constatées et énoncées par ses auteurs pour les zones tropicales humides américaines (Hawaï). Ces **limites d'utilisation** ont plusieurs causes que l'on peut résumer en quelques points :

• WISCHMEIER et SMITH insistent constamment sur la nécessité de cumuler un grand nombre de données. L'amélioration de la formule repose en effet sur 20 années d'observations de parcelles traitées selon des protocoles rigoureusement standardisés ce que permet une importante mécanisation. Standardisation et mécanisation sont plus difficiles à obtenir dans les pays en voie de développement,

• WISCHMEIER et SMITH insistent également sur l'absence de signification des événements climatiques exceptionnels ("...the USLE is not recommended for prediction of specific soil loss events...") et notamment sur l'influence, perturbatrice sur les mesures, des pluies de forte intensité qui encroûtent et colmatent la porosité de la surface du sol. Toutes leurs recommandations prouvent, en fait, que c'est surtout l'érosion insidieuse qui est prise en compte et beaucoup moins celle qui résulte d'événements climatiques paroxysmaux. Là encore, on perçoit les limites d'utilisation d'une formule peu adaptée aux conditions tropicales.

• La standardisation du diamètre des mottes de la parcelle de référence est un élément important de validité de cette formule, cette standardisation est plus facile à respecter dans les zones tempérées que dans les zones intertropicales où la stabilité des structures est souvent plus faible.

• WISCHMEIER et SMITH ont fixé à 22,12 m et à 9 % les longueur et valeurs de pente souhaitables des parcelles de référence pour pouvoir utiliser un maximum de données anciennes ("...because they are the predominant slope length and about the average gradient on which past erosion measurements in the United States had been made...") : ces caractéristiques sont peu adaptées au milieu naturel de l'Afrique de l'Ouest et plus précisément aux zones sèches où prédominent de longs versants peu pentus. D'autre part, ces auteurs admettent que ce dispositif ne peut déceler que l'érosion due aux écoulements en nappe ou légèrement concentrés (sheet and rill erosion) or, sur bien des sols africains, des ravinements (gully erosion) peuvent être détectés en deçà de 20 m de versant et, surtout, sur des pentes inférieures à 9 %,

• Selon eux, il est nécessaire de maintenir la parcelle de référence dans un état d'érodibilité maximale en réhomogénéisant par de nouveaux labours la surface des sols particulièrement sujets au colmatage (sealing) et à l'encroûtement (crusting) : dans les conditions de l'Afrique de l'Ouest cette recommandation devient irréaliste car elle obligerait à relabourer bien des parcelles à l'issue de près de 50 % des averses annuelles avec pour conséquence une modification du témoin par ablation excessive des tranches superficielles du sol.

• Enfin et surtout les différents facteurs utilisés dans cette formule ne sont pas indépendants :

•• on est obligé d'émettre des doutes sur la similitude de sols situés sur des pentes différentes, donc sur la possibilité d'isoler strictement le facteur topographique,

•• une confusion existe entre le facteur "index sol K" et "l'indice de culture C" lorsque les sols présentent d'importantes charges en éléments grossiers dont le rôle protecteur a été analysé précédemment. Cette charge,

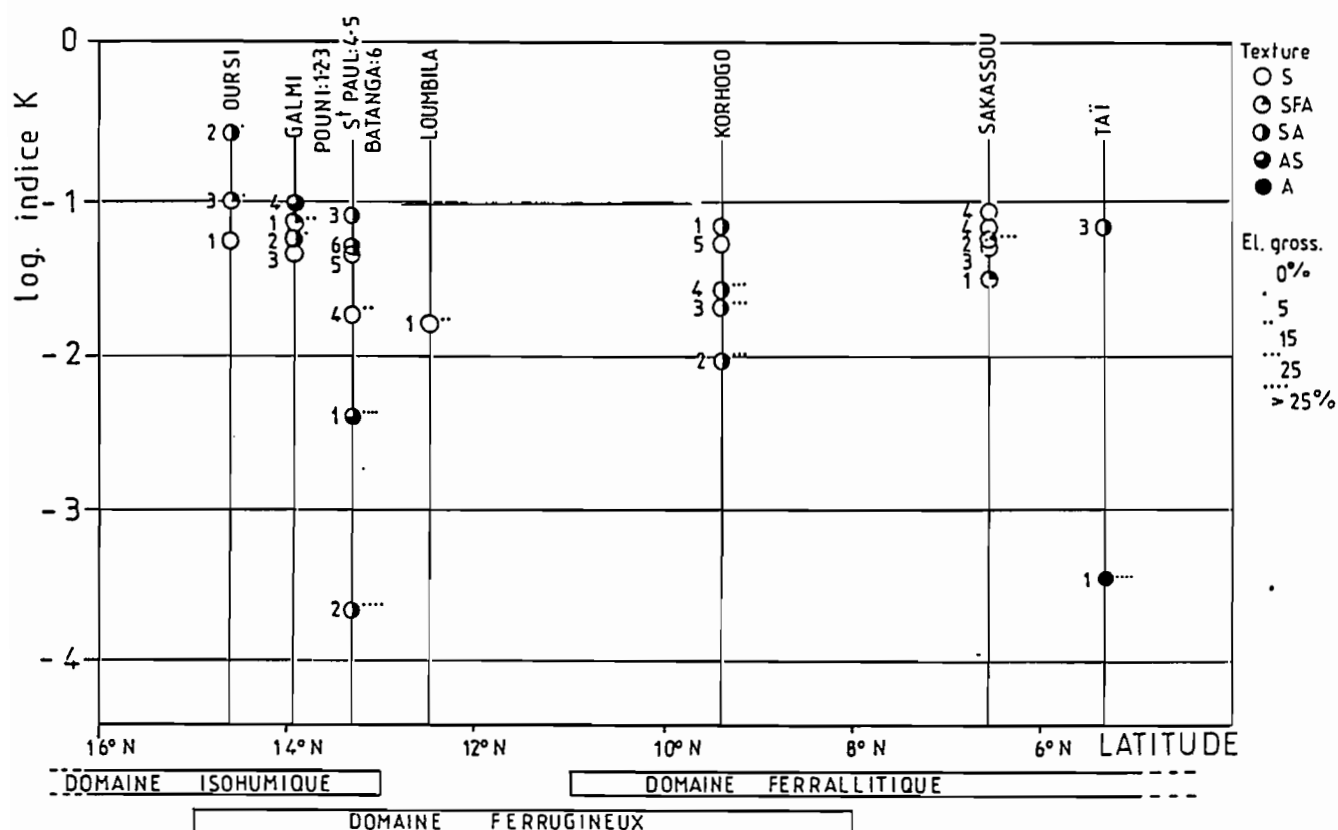
jouant le rôle d'un mulch naturel, voit sa concentration augmenter tout au long des essais par accumulation relative, ce qui relie les facteurs R et C ou encore R et K si l'on considère que ces éléments grossiers font partie intégrante du sol,

• dans le cas des sols dont la structure subit une dynamique saisonnière, il n'existe pas une mais plusieurs valeurs de K qui sont fonction de l'état d'humectation du sol donc de R,

• le facteur C n'intervient pas toujours proportionnellement à la densité du couvert végétal, son effet peut effectivement être univoque sur les sols kaoliniques sableux sensibles au splash, on note par contre de fortes variations de C dans le cas des sols smectitiques où la détachabilité dépend plus strictement de l'humectation superficielle.

## **XI.2. Validité de la formule de prédiction des pertes en terre sur les différents sols du transect, comparaisons avec les données d'autres régions**

### **XI.2.1. Concernant l'érodibilité des sols (facteur K)**



**Fig. IV.51.: "Indices d'érodibilité" des sols du transect, calculés à partir des données "simulateur", d'après la formule de WISCHMEIER et SMITH (K SIM).**

La formule de prévision des pertes en terre a été appliquée aux 25

parcelles de référence installées sur les différents sites du transect. Les érodibilités ont été calculées en prenant les érosions globales correspondant à deux érosivités (R ou SR) : les premières, caractéristiques de la pluviométrie locale (SR de 225 à 1 000 points), les secondes, fixées à 500 points. Ces érosions globales ont été pondérées par le facteur pente (S) selon la formule présentée précédemment. Les résultats sont reportés sur le tableau LXI (en annexe) en colonne 9 après avoir rappelé les principales caractéristiques des différents sols. Un classement des érodibilités est présenté en colonne 10 depuis le sol le plus érodible (1/25 jusqu'au sol le moins érodible 25/25). Comme cette procédure ne respecte pas intégralement le protocole des auteurs de cette formule, notamment pour ce qui concerne la durée des essais, le sigle k SIM remplace le sigle "K" pour signaler cette différence. Les différentes valeurs de kSIM ont aussi été représentées sur la figure IV.51. en les ordonnant cette fois selon la latitude, donc, le plus souvent selon la succession des domaines pédologiques. Enfin, le tableau LXVI (en annexe) compare, par type de sols, des érodibilités obtenues sous pluies naturelles selon le protocole de WISCHMEIER et SMITH (colonnes 3 et 4) et sous pluies simulées (colonne 5).

Ces séries d'informations et leurs comparaisons amènent les commentaires suivants :

- les érodibilités obtenues sous simulation de pluies (kSIM), pas plus que les érodibilités mesurées ou calculées selon le protocole de WISCHMEIER et SMITH, ne font apparaître de classement latitudinal net des pertes en terre. Les limites de variation des érodibilités se superposent assez largement d'un domaine pédologique au suivant : par exemple, GALMI 3 (sol isohumique) est classé 14/25 et SAKASSOU (sol ferrallitique) est classé 4/25,

- on relève une influence très nette des charges en éléments grossiers dans l'atténuation des érodibilités et ce, quels que soient les domaines pédologiques (POUNI 1 et 2, KORHOGO 2, 3 et 4, TAÏ 1 par exemple),

- il apparaît que sur la majorité des parcelles, l'érodibilité est elle-même une fonction de l'érosivité puisque des variations, parfois importantes de K sont observées pour des valeurs différentes de SR. Ceci confirme ce qui a été démontré précédemment en étudiant les évolutions des détachabilités avec le cumul des averses  $\Rightarrow$  stabilisation ou accentuation de la dégradation des sols (fig. IV.43 dans le paragraphe X.2.3).

L'équation de prévision des pertes en terre ne permet donc pas, au moins en Afrique de l'Ouest, d'établir une comparaison précise des érodibilités ; aussi ne devrait-elle pas être utilisée pour les étalonner. Par contre, si on limite ses prétentions à un suivi de l'évolution des érosions sous les effets des facteurs C et (ou) P, l'érodibilité K peut effectivement servir de repère à condition de rester dans le champ où sont pratiqués les essais.

Une des causes de la dispersion des valeurs prises par K est probablement l'absence de discrimination entre les contributions de la lame ruisselée et de la détachabilité dans l'érosion globale.

Sur la figure IV.52. ont été portées les turbidités moyennes pondérées CM2 en fonction des valeurs correspondantes de l'érodibilité kSIM. Il y apparaît deux distributions de points :

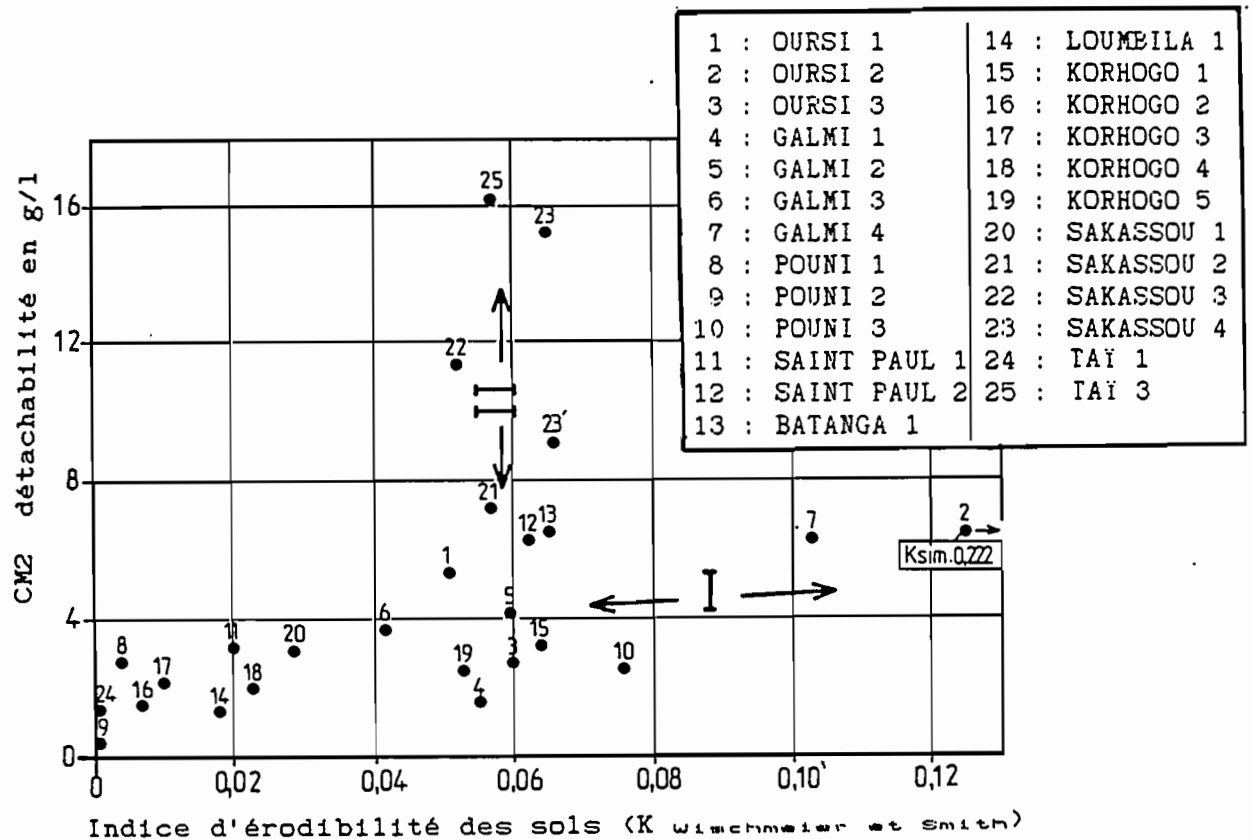


Fig. IV.52.: Discrimination des causes de l'érosion et "indice d'érodibilité K SIM".

- l'une (I) légèrement croissante puis sensiblement horizontale décrit de fortes variations de l'érodibilité pour des détachabilités variant relativement peu,

- l'autre (II) est verticale avec des érodibilités voisines malgré de très importantes variations de la détachabilité.

Ces deux distributions résultent des variations des lames ruisselées venant soit "tamponner" les détachabilités dans le cas d'érosions groupées (I), soit accroissant leurs effets dans le cas d'érosions étalées (II). Aussi cette équation ne permet-elle pas non plus de préconiser la mesure conservatrice la mieux adaptée aux réactions des sols de l'Afrique de l'Ouest. Sur les sols de la première distribution, il conviendrait surtout de limiter le ruissellement, sur ceux de la seconde distribution, c'est sur une atténuation de la détachabilité qu'il conviendrait de porter les efforts.

*XI.2.2. Un essai de prise en compte des caractéristiques analytiques des sols des parcelles : l'érodibilité calculée de WISCHMEIER, JOHNSON et CROS.*

A partir de 1969, une autre approche a été tentée par WISCHMEIER et

MANNERING pour relier les valeurs de K mesurées sur parcelles aux caractéristiques analytiques de leur horizon de surface. Dans un premier temps 10 variables analytiques entraient dans une régression multiple, puis, en 1971, WISCHMEIER, JOHNSON et CROSS ont simplifié le calcul en ne retenant que 5 variables significatives qui sont :

- la teneur en éléments de 2 à 100 microns,
- la teneur en éléments de 100 à 2 000 microns,
- la teneur en matière organique (%),
- une évaluation codée de la structure,
- une évaluation codée de la perméabilité selon les normes du "Soil Survey Manual" du Département de l'Agriculture des Etats-Unis (1951).

Un nomographe combinant 6 abaques permet de déduire rapidement les valeurs de K à partir des résultats analytiques et des évaluations codées et ce, sans installation de parcelle. Sur le tableau LXV (en annexe), colonnes 2, 3 et 4) on constate que les érodibilités calculées (colonne 2) sont généralement 5 fois supérieures à celles mesurées (colonne 3), elles peuvent même devenir approximativement 50 ou 100 fois supérieures sur les sols gravillonnaires (POUNI p. ex.). Dans la régression multiple des auteurs cités précédemment, 80 % des variations sont expliquées par les taux d'éléments fins et de matière organique mais rien n'est prévu pour les éléments d'un diamètre > 2 mm. Si l'on excepte les approximations résultant du codage de la structure et de la perméabilité, il apparaît que ce sont surtout les éléments fins qui peuvent être à l'origine des écarts constatés :

- les prélèvements étant effectués dans les horizons de surface, on majeure sensiblement, en zone intertropicale africaine, les taux d'éléments fins (organisations pelliculaires superficielles) alors que ceux-ci ne sont pas toujours les "éléments marqueurs" d'une plus forte érosion,

- le rôle intercepteur du splash des éléments grossiers n'apparaît pas dans ce calcul.

Cette recherche d'une formulation de l'érodibilité par la composition des horizons de surface est intéressante, elle a d'ailleurs donné de bons résultats aux Etats-Unis mais elle ne peut pas être transposée telle quelle en zone intertropicale africaine où les "éléments marqueurs" de l'érodibilité n'ont pas le même poids ou encore peuvent être différents de ceux retenus par les américains. Concernant le poids des paramètres entrant dans le nomographe, il conviendrait évidemment de pouvoir disposer d'un très grand effectif de données obtenues selon des méthodes d'analyse identiques ; concernant d'éventuels autres paramètres à considérer, il est presque certain que la nature minéralogique des argiles et que la charge cationique sodique ou magnésienne devraient également être considérées.

### *XI.2.3. L'indice de couvert végétal*

Tout autre facteur (K, S, L, P) étant = 1,0, le rapport entre l'érosion globale de la parcelle couverte et l'érosion globale de la parcelle de référence permet de quantifier l'influence protectrice d'un couvert végétal naturel ou cultivé. Cet indice "C" évolue évidemment avec la croissance des végétaux ; aussi peut-il être donné à l'issue de chaque période significative de



cette croissance (5 à 10 périodes selon les cultures et les cycles adaptés aux conditions pluviométriques ou encore **pour la totalité du cycle** d'une culture donnée en pondérant les indices partiels par les périodes du cycle.

Comme les essais sous simulateur de pluies ne concernent que des états saisonniers bien définis de couverts naturels ou cultivés, l'indice sera désigné par le sigle "cSIM" et non par C.

Ces différentes valeurs, pour les 25 parcelles, sont présentées sur le tableau LXIII (en annexe), y figurent également les taux de recouvrement des végétaux vivants ou des débris en utilisant la méthode des points quadrats. Le tableau LXVII (en annexe) présente, quant à lui, des exemples d'indices pour des couverts naturels ou cultivés de la zone équatoriale.

Cet indice C intervient à un haut niveau dans l'atténuation des érosions, puisqu'il varie de 0,001 à 1,0 à la différence des autres facteurs nettement moins influents. En zone sèche, il est difficile de déterminer ce facteur sur les sols gravillonnaires car la désagrégation des mottes de labour de la parcelle de référence amène rapidement en surface une concentration de gravillons dont l'efficacité anti-érosive devient équivalente sinon supérieure à celle de tous couverts végétaux (GALMI 1, POUNI 2, LOUMBILA 1, p. ex.).

Sur les autres sites aux sols meubles, la relation liant la densité du couvert à l'indice peut être évaluée par régression et, malgré un effectif de données assez faible, on trouve des relations significatives mettant en évidence deux types de comportements assez voisins en zone sèche (d'OURSI à LOUMBILA) et en zone humide (de KORHOGO à TAÏ).

Zone sèche :  $cSIM = 1,17 \exp^{-0.033v}$        $n = 11$  et  $r^2 = 0,79$

Zone humide :  $cSIM = 0,19 \exp^{-0.034v}$        $n = 11$  et  $r^2 = 0,70$

avec  $v$  = % de recouvrement (col. 3 du tableau LXIII en annexe).

L'atténuation de l'érosion maximale (sol nu) nécessite des densités de recouvrements végétaux plus importantes en zone tropicale sèche qu'en zone humide parce que le rôle du latic racinaire superficiel n'est pas pris en compte en zone humide. Sous ces latitudes, ces racines restent en effet denses et vivantes d'une saison à l'autre, même en savane préforestière soumise régulièrement aux brûlis. Là, la strate herbacée se reconstitue dès les premières pluies à partir des collets racinaires de l'année précédente. En zone sèche, ce type de recrû est beaucoup plus rare et le couvert de saison des pluies ne se reconstitue qu'à partir de la germination de graines amenées par le vent ou par les ultimes écoulements et piégées dans les aspérités du sol (accumulations sableuses, piétinement du bétail, ornières de véhicules, etc.).

Les conséquences de cette différence de dynamique apparaissent à la comparaison des facteurs cSIM du tableau LXIII (en annexe) :

- en **zone sèche**, la steppe herbeuse qui se développe en saison des pluies assure une protection environ 50 fois plus importante que celle fournie par les chaumes résiduels de la saison sèche. La protection globale, sur l'année, dépendra de la rapidité avec laquelle s'instaure le couvert herbacé, donc de la régularité des premières averses ; on conçoit alors que l'indice C

moyen interannuel soit difficile à établir dans ces régions (COLLINET, VALENTIN, 1985),

- en zone guinéenne mésophile, sous savanes pré-forestières, cette différence est moins importante, la savane herbeuse et arbustive du "V baoulé" par exemple, n'assure que 5 à 15 fois plus de protection que le couvert brûlé au cours de la saison sèche.

- en zone guinéenne ombrophile, la défriche traditionnelle d'une forêt sempervirente installée sur un sol meuble de bas de versant provoque une sensible augmentation de l'érosion ( $\times 8,0$ ) à l'issue des brûlis mais, d'une part, celle-ci porte sur des pertes en terre initialement très faibles, d'autre part, ce coefficient se réduit rapidement avec le développement des cultures, celui des adventices ainsi qu'avec celui du recrû forestier sur les jachères récentes ( $\times 2,5$  la première année de riz pluvial). Lors de la reconstitution du couvert forestier après l'abandon des cultures, le second stade de cette reconstitution voit proliférer une "brousse" dense à *Macaranga hurifolia* qui atteint son développement maximum vers 4 à 5 ans, période pendant laquelle l'indice C redevient  $< 0,001$  par combinaison des effets d'une structure foliaire interceptrice dense et d'un développement racinaire traçant extraordinairement dense ; ensuite les espèces de la "pré-forêt" prennent le relais.

Le tableau LXVII (en annexe) regroupe des exemples de valeurs limites moyennes interannuelles de l'indice C. Sous végétation naturelle, il faut retenir les ordres de grandeur suivants :

- la protection est quasi totale sous couvert forestier avec un facteur de protection voisin de 0,001,

- il reste important sous savane humide dense, environ 0,01, mais les brûlis annuel où le surpâturage ramènent ce coefficient à environ 0,1.

Sous culture, pour des valeurs moyennes établies sur la totalité des cycles, des différences apparaissent qui sont liées :

- a) à la densité des semis elle-même adaptée à la pluviométrie,
- b) à la structure foliaire,
- c) aux fertilisations éventuelles favorisant les développements précoces :

- les cultures sarclées des zones humides donnent des valeurs oscillant entre 0,2 et 0,8,

- l'effet "densité des semis" se manifeste surtout pour les cultures céréalières avec des indices de 0,1 et 0,2 en zone humide et plutôt de 0,4 à 0,9 en zone sèche.

#### XI.2.4. L'indice des pratiques anti-érosives "P"

Les pratiques anti-érosives visent à ralentir les eaux de ruissellement et à réduire les masses de terre qu'elles transportent. Elles consistent à créer, sur la surface du sol, des rugosités s'opposant au flux des eaux chargées selon la ligne de plus grande pente, ces rugosités augmentent le

temps de transit en allongeant artificiellement la longueur d'un versant devenu moins pentu.

Différentes techniques sont utilisées depuis le simple labour en bandes isohypses jusqu'aux importants et coûteux travaux de terrassement modifiant la topographie d'un versant. Plusieurs techniques peuvent aussi être combinées sur le même versant en fonction de son profil, de sa longueur et des cultures pratiquées.

L'efficacité de ces techniques ne vaut cependant que dans des limites de pente et de longueur de versant données et dans l'entretien permanent de ces façonnements. WISCHMEIER et SMITH (1978) ont établi, à partir du cumul de nombreuses données, des séries de facteurs de réduction de l'érosion, en voici deux exemples :

- pour les labours isohypses :

- P # 0,5 pour une pente  $\leq 8\%$  avec une longueur de versant  $\leq 100$  m,

- mais P # 1,0 (action nulle) pour des pentes approchant  $25\%$  sur  $15$  m de versant,

- pour un aménagement en bandes alternées de prairies denses et de cultures céréalières en sillons isohypses (4 ans de rotation ; céréales - prairie) :

- P  $< 0,40$  sur des pentes  $\leq 8\%$ , avec des bandes de  $\approx 30$  m de largeur, sur un versant n'excédant pas  $150$  m,

- P atteint par contre  $0,70$  sur des pentes de  $20\%$ , avec des bandes alternées de  $15$  m, sur un versant n'excédant pas  $30$  m.

La limite d'efficacité de ces façons culturales repose sur un principe simple : chacune d'elles doit pouvoir retenir et détourner le ruissellement résultant de sa propre édification à l'exclusion de tous apports supplémentaires de l'amont sinon les érosions rattrapent et dépassent largement celles de la parcelle de référence et l'indice P devient  $\geq 1,0$ . C'est ce qui peut se produire lorsque l'averse dépasse un seuil de hauteur ou d'intensité : "...When rainfall exceeds infiltration and surface detention in large storms, breakovers of contour rows often result in concentrations of runoff ... Therefore on slopes exceeding some critical length the amount of soil moved from a contoured field may approach or exceed that from a field on which each row carries its own runoff water down the slope".

Lorsque ces façons culturales ne modifient que la rugosité du versant, elles sont efficaces dans des limites assez étroites :  $0,1 < P < 1,0$ . Lorsqu'elles sont combinées avec d'autres techniques où l'on agit aussi sur l'interception du couvert végétal (bandes alternées p. ex.), les indices P et C se confondent :  $0,01 < P \leq 0,5$ . Le paillage d'un labour à plat peut, quant à lui, atténuer l'érosion dans des proportions avoisinant celles du seul facteur C illustrant l'action des couverts végétaux, et alors l'extension des limites est surtout liée à la texture du sol et à la minéralogie de ses argiles :  $0,001 < P \leq 0,3$ .

Le tableau LXIV (en annexe) récapitule différentes valeurs d'un indice d'atténuation de l'érosion observé sous simulation de pluies pour 3 techniques culturales. Compte tenu de l'exiguïté de la parcelle (10 m de longueur de versant), on s'éloigne sensiblement des conditions expérimentales préconisées par WISCHMEIER et SMITH, aussi utilise-t-on le sigle "pSIM" à la place de "P".

- pour un **billonnage** avec une érosivité limitée à 300 points, son efficacité varie dans d'assez larges limites :  $0,11 < \text{pSIM} < 1,80$ , certaines valeurs dépassent l'unité traduisant l'effondrement en cascade des billons. Cette distribution est nettement liée à la pente topographique, ce qui a déjà été souligné dans le chapitre IX.

Cette liaison peut être rappelée sur le billonnage isohypse où le nombre des essais est suffisant pour pouvoir disposer de 4 inclinaisons de versant :

:-----:				
: pentes (%) :	0,5	: 2,1	: 2,9	: 3,8 :
: sites GALMI :	1	: 4	: 2	: 3 :
:-----:				
: "pSIM" sur :	0,11	: 0,44	: 0,69	: 0,89 :
: 2 parcelles :	0,31	: -	: 1,22	: 1,40 :
:-----:				

mais on constate également que son efficacité est limitée à des pentes n'excédant pas 3,5 % sur les sols à texture grossière et plutôt 2,5 % sur les sols à texture plus fine.

- Pour le **buttage** : les limites d'efficacité sont encore plus étendues :  $0,001 < \text{pSIM} < 50$  ; cette technique est inefficace ou nuisible sur les sols gravillonnaires (POUNI 2 et TAÏ 1) car les turbidités augmentent plus fortement que celles d'un labour à plat ; elle est par contre intéressante sur les sols meubles où elle agit surtout sur la limitation du ruissellement.

- En ce qui concerne enfin le **paillage** : l'indice de LOUMBILA 1 est mal déterminé car il correspond à un arrêt du ruissellement, donc de l'érosion, sur plus de 50 % de la parcelle ; on note par contre une efficacité plus nette sur les sols sensibles au splash (POUNI 3) où ruissellement et détachabilité sont tous deux fortement atténués (fig. IV.50.) par rapport aux sols de texture plus fine.

## CHAPITRE XII

### CONCLUSION PARTIELLE : LES CAUSES DE L'ÉROSION HYDRIQUE REVELEES PAR L'ANALYSE DES COMPORTEMENTS GLOBAUX

L'analyse de l'érosion hydrique des sols a été menée dans trois directions visant à identifier les effets de leur différenciation latitudinale de leurs caractérisations intrinsèques, des différentes situations expérimentales dans lesquelles ils étaient placés soit par le développement d'un couvert végétal, soit par leur mise en culture.

Dans ces trois cas ont été successivement analysées : les érosions globales correspondant à un niveau de contrainte climatique donné et l'évolution de leur détachabilité tout au long des averses.

Enfin, la formule de prédiction des pertes en terre de WISCHMEIER et SMITH a été utilisée pour en tester les possibilités et les limites.

#### • Les effets de la différenciation latitudinale des sols

La tentative de classement des érosions faite en relevant les courbes enveloppes ( $SE = f(SPu)$ ) des érosions maximales et minimales des sols par domaine pédologique n'aboutit à rien de très significatif. Il n'existe en effet pas de relations strictes entre les érosions et l'appartenance de sols à tel ou tel domaine pédologique. Ceci n'a rien de très étonnant, d'une part, parce que les diagnostics établissant le classement des sols aux niveaux taxonomiques élevés sont de nature génétique et tiennent peu compte de la dynamique actuelle des sols, d'autre part parce que ces diagnostics s'appliquent, aussi bien aux épipédons des sols isohumiques qu'aux profonds horizons d'altération des sols ferrallitiques.

Les érosions maximums révélées par le traitement de référence sont très dispersées à l'intérieur d'un domaine pédologique donné ; tandis que leurs valeurs limites se recouvrent fortement d'un domaine à l'autre. On a, en effet, relevé, pour une érosivité de 500 joules/m<sup>2</sup>×mm, les fourchettes suivantes :

- domaine isohumique : 1,9 à 19,5 T/ha/SR 500, soit un facteur 10,
- domaine ferrugineux : 0,04 à 6,9 T/ha/SR 500 ⇒ facteur 170,
- domaine ferrallitique : 0,2 à 32,3 T/ha/SR 500, ⇒ facteur 160.

Par rapport aux domaines isohumiques et ferrallitiques, il est cependant apparu une tendance à la limitation des érosions maximums dans le domaine ferrugineux. Ceci peut être attribué à l'édification assez générale d'organisations pelliculaires superficielles aboutissant à une augmentation de l'interception des énergies des pluies liées à l'accroissement de l'épaisseur de la détention superficielle d'où une diminution de la détachabilité des sols lissés.

Il a aussi été mis en évidence une plus forte limitation des érosions minimales dans les domaines ferrugineux et ferrallitiques à cause de la fréquence des épandages gravillonnaires nettement moins caractéristique des sols isohumiques.

Dans le domaine isohumique la distribution des sols est plus homogène, la fourchette des érosions est donc plus étroite et les plus fortes pertes en terre correspondent aux sols vertiques de texture fine dont les structures se dégradent par simple hydratation et (ou) par charge excessive en magnésium du complexe absorbant.

#### • Les effets des caractéristiques intrinsèques

L'identification des sols fournissant les érosions limites a d'abord permis de détecter les facteurs de résistance ou de fragilité à l'érosion. Parmi ces facteurs, rares sont ceux qui interviennent isolément (charge en éléments grossiers), ils combinent le plus souvent leurs effets (texture + stabilité structurale + teneur en matière organique) ces effets sont en outre modulés par les caractéristiques de l'environnement (topographie).

La détachabilité des sols labourés ou en leur état naturel peut évoluer tout au long des averses. L'expression de cette évolution avec le cumul des averses ou avec l'érosivité montre trois types de comportements :

- a) stabilisation plus ou moins rapide de la détachabilité,
- b) dégradation immédiate et continue,
- c) détachabilité d'emblée constante, donc indépendante des contraintes d'origine pluviale.

Ces trois types de comportements reproduisent les associations des types de turbidigrammes des averses unitaires traduisant soit une érosion en nappe, soit une érosion concentrée et les relations suivantes ont pu être mises en évidence :

- si la statilité structurale est moyenne ( $I_s < 1,5$ ) et si la charge en éléments grossiers devient supérieure à 10 %, la détachabilité reste constante et la texture de la terre fine intervient peu,

- par contre, les sols très sableux sans éléments grossiers présentent une détachabilité croissante quel que soit le traitement de la parcelle; lorsque la texture devient plus argileuse, seule la parcelle labourée continue à se dégrader,

- les sols sableux ou argileux à forte charge en éléments grossiers et à faible stabilité structurale ( $I_s > 1,5$ ) voient leur détachabilité se stabiliser quels que soient leurs traitements.

#### • Les effets de la pente topographique

Les effets de la pente topographique sont difficiles à isoler car il est pratiquement impossible de comparer des sols identiques puisque l'intensité du drainage, dépendant, pour partie, de l'inclinaison du versant, est un facteur important de différenciation des horizons. Si l'on est sûr de la similitude de deux sols, l'inclinaison de leur pente provoque généralement le passage d'une érosion en nappe à une érosion concentrée, mais il existe des seuils liés aux caractéristiques précédentes.

Il est apparu, surtout en zone sèche où les horizons de profondeur interviennent moins que les organisations de surface, que de faibles modifications de pente changeaient sensiblement les modalités de l'érosion. Cette modification est interprétée comme étant liée à l'épaisseur de la lame ruisselante et à la régularité de sa répartition. L'homogénéité de cette répartition est confortée par la formation de pellicules mais jamais par l'amélioration de la structure qui retarde le lissage et maintient des zones exondées.

#### • Les conséquences de la différenciation toposéquentielle des sols, la dynamique à l'échelle des interfluves

S'il n'existe pas de relations entre l'érosion et la différenciation génétique des sols en grands domaines pédologiques, il apparaît par contre des liaisons directes entre leur différenciation toposéquentielle et leur dynamique actuelle.

Dans les domaines ferrugineux et ferrallitiques, les segments actuellement les moins érodables sont situés en sommet de forme et en amont des versants où se sont accumulés les éléments grossiers rélictuels des pédogénèses antérieures ; vers l'aval apparaissent les segments actuellement les plus érodables, mais différentes formes d'érosion peuvent y coexister ou s'y succéder.

Dans le domaine ferrugineux, les versants sont étendus, les particules érodables sont, le plus souvent, grossières, les eaux sont peu abondantes, le couvert végétal est discontinu et non pérenne. La portion d'interfluve, à partir du tiers supérieur, est suffisamment étendue pour que s'organisent un ruissellement généralisé et une érosion en nappe. Vers l'aval l'érosion ne se concentre qu'en années exceptionnellement humides. En année normale, l'exportation des éléments érodés dans le réseau est partielle ou nulle. Ceux-ci s'épandent en bas de versant au niveau de chenaux de ruissellement correspondant à un début de hiérarchisation des écoulements mais les eaux trop chargées y ont perdu leur pouvoir érosif.

Dans le domaine ferrallitique, les versants sont courts, les particules érodables sont fines, les eaux abondantes, le couvert végétal continu et pérenne. La partie médiane de l'interfluve est peu étendue, le ruissellement et l'érosion en nappe ne s'y généralisent pas ou peu du fait d'une infiltrabilité moyenne à forte. Les apports amont restent faibles, ce qui

compense un effet de la pente souvent plus fort que dans le domaine précédent. En année normale, les éléments érodables sont exportés dans le réseau, en année très humide, une hiérarchisation du ruissellement apparaît vers le tiers inférieur de l'interfluve où prédominent des sols plus sableux mais l'érosion concentrée reste l'exception. Le ravinement ne dépend plus, en effet, de la seule dynamique superficielle mais elle peut aussi être déterminée par la différenciation latérale des horizons. Un flux souterrain peut se concentrer au-dessus d'horizons moins perméables et alors l'érosion, sensu lato, peut devenir autant interne (suffosion) que superficielle. Les incisions de la surface sont souvent "préparées", dans ce domaine ferrallitique, par cette suffosion.

#### • Les effets du couvert végétal

L'effet du couvert végétal a pu être mis en évidence sur la toposéquence de SAKASSOU. Il agit en interceptant l'énergie des pluies et en ralentissant la vitesse du courant de ruissellement.

La réduction de l'érosion, par rapport aux sols en partie dénudés par les brûlis de la saison sèche, est importante. La reconstitution du cycle végétal de la savane pré-forestière de SAKASSOU a montré que près de 85 % de l'érosion annuelle provenaient de ce qui se passait en début de saison des pluies sur des sols non encore protégés. C'est ainsi que l'érosion moyenne interannuelle d'un petit bassin versant de savane humide ne dépasserait pas 0,5 T/ha ce qui correspond au niveau mesuré par d'autres techniques dans cette zone. Dans le cas de SAKASSOU, cette valeur ne permet pas d'expliquer la proportion importante des sols sableux de bas de versant (environ 40 % de l'interfluve). L'accumulation de ces matériaux ne serait donc pas uniquement due aux apports latéraux mais proviendrait également d'une évolution autochtone des sols d'ailleurs décelée sur le profil caractéristique du site SAKASSOU 2.

#### • Les effets des façons culturales

Les effets du billonnage, du buttage et du paillage ont été testés sur des champs en zones sèche et humide.

Les modifications de la rugosité du champ (billonnage, buttage) agissent sur le ruissellement et sur la détachabilité. En ce qui concerne la détachabilité, deux effets opposés se juxtaposent : celui d'une modification de l'angle d'impact des gouttes de pluie, celui d'une augmentation de la surface spécifique du champ donc des volumes de terre potentiellement exportables par unité de surface. Il existe manifestement un seuil fixant l'angle d'impact efficace en fonction de la stabilité structurale du sol. Si cette stabilité structurale est faible (zone sèche), cet angle d'impact permettant d'atténuer l'érosion n'est jamais atteint, aussi la détachabilité alimente-t-elle de façon continue cette érosion; mais celle-ci est limitée par l'aplanissement du champ donc par la diminution rapide de sa surface spécifique. Si la stabilité structurale s'améliore, (situation rencontrée en zone humide) l'effet "angle d'impact" peut être atteint, la détachabilité, très importante au départ, s'atténue dès qu'un angle limite d'impact est atteint. Cependant l'érosion s'exerce au dépens d'une surface spécifique constamment plus importante que celle des sols des zones sèches. Dans les deux zones, cette surface spécifique reste plus élevée sur buttage que sur billonnage.



L'effet de la **pente** topographique sur ces différentes façons est en relation avec la **texture** : en zone sèche, il est apparu que les champs sableux pouvaient être façonnés sans danger excessif jusqu'à des pentes d'inclinaison supérieure à celle des champs plus argileux. Une analyse de l'évolution de la détachabilité avec le cumul des averses montre une stabilisation de l'érosion des champs billonnés entre 0,5 et 3,5 %, par contre, l'érosion reprend de l'importance sur les champs plus argileux billonnés au-delà de 2,5 % de pente.

Différents faits prouvent que les modifications de la détachabilité attribuées aux paramètres texture et pente (causes initiales) peuvent aussi s'expliquer par la différence entre les **charges** initiales et finales de l'eau de ruissellement (cause dérivée) : une eau immédiatement très chargée sur les sols sableux perd de son pouvoir érosif, c'est l'inverse pour les eaux initialement plus claires sur les sols plus argileux.

Le paillage est une technique anti-érosive très efficace, quoique coûteuse dans les zones sèches ; mais cette efficacité diminue dans deux cas sur les sols gravillonnaires déjà protégés en surface et sur les sols sujets à une dégradation chimique de la structure.

#### • L'équation de prédiction des pertes en terre de **WISCHMEIER** et **SMITH**

Cette équation a été présentée et testée sur les différents sols du transect, ses résultats ont ensuite été discutés. La pondération des masses de terre érodée par le facteur topographique permet un **classement** des érodibilités mais celui-ci ne coïncide toujours pas avec les grands domaines pédologiques.

L'analyse des exemples de données fournies par les parcelles plus vastes et recevant des averses naturelles, donc selon un protocole plus conforme aux normes proposées par les auteurs, montre une dispersion et des recouvrements de données tout aussi importants. Si cette équation est performante sur les sols du continent nord-américain, il faut considérer que sa formulation et les modalités de son utilisation en Afrique de l'Ouest, et peut-être dans toutes les zones intertropicales du monde, sont criticables. Il n'est en effet pas tenu compte des caractéristiques des sols qui font la différence entre ces divers milieux, qu'il s'agisse des modifications de la surface, des charges en éléments grossiers, de la nature minéralogique des argiles, des dynamiques structurales saisonnières, de l'étroite liaison entre la pente et la pédogénèse.

La formule fut établie et utilisée pour des érosivités dont les effets sur l'érodibilité étaient, semble-t-il, univoques et normaux. Ce n'est pas le cas des sols africains étudiés pour lesquels l'**érodibilité est une fonction de l'érosivité**.

Si cette formule est utilisée dans un périmètre restreint dont on connaît parfaitement les sols et où l'on maîtrise les paramètres climatiques, elle fournit un bon étalonnage interne d'érodibilité permettant de quantifier avec une bonne précision et une bonne répétitivité les effets des couverts végétaux et des façons culturales. Par contre, les extrapolations régionales et, a fortiori, mondiales peuvent être à l'origine de sérieux déboires et doivent être évitées.



CINQUIEME PARTIE ; SECOND NIVEAU D'ANALYSE -  
DES COMPORTEMENTS AUX MECANISMES,  
LES EFFETS DES CONTRAINTES CLIMATIQUES,  
LES REACTIONS DES SOLS

L'analyse de la dynamique actuelle de sols représentatifs de l'Ouest africain, limitée à leurs comportements globaux, fait ressortir le rôle prépondérant d'un nombre de facteurs, somme toute assez limité, ce que, a priori, ne laissait pas supposer la multiplicité des différenciations morphogénétiques observées.

Cette multiplicité des sols est, pour une bonne part, liée à la surimposition des effets des **dynamiques actuelles** sur ceux issus de **dynamiques anciennes**.

La cinquième et dernière partie se propose donc de faire la part des choses en isolant les **mécanismes actuellement les plus efficaces** agissant par l'intermédiaire de contraintes climatiques sur des matériaux superficiels de composition et d'organisation variables.

L'analyse des mécanismes intimes aboutit à des schémas synthétiques représentés dans les conclusions partielles où l'on constatera que l'articulation des causes et des effets peut se réduire à un nombre limité de situations suffisamment explicites pour pouvoir rendre compte de la majorité des comportements hydrodynamiques et érosifs des sols du transect.



## CHAPITRE XIII

### ANALYSE DES PARAMETRES D'EVENEMENTS ; LES CONTRAINTES D'ORIGINE CLIMATIQUE

Les contraintes d'origine climatique regroupent un ensemble de causes isolables ou interactives résultant des caractéristiques des précipitations et agissant sur l'érosion des sols.

L'analyse plus globale menée dans la quatrième partie a permis de cerner les facteurs sur lesquels il convenait de porter l'accent, ce sont :

- les composantes dérivées de l'intensité des averses et correspondant, soit à l'"érosivité" telle qu'elle a été définie et calculée pour établir la formule de prévision des pertes en terres de WISCHMEIER et SMITH (EV), soit plus directement à l'énergie cinétique des pluies ( $E_c$ ),
- l'interception de cette énergie par une tranche d'eau correspondant à la détention superficielle pendant le ruissellement ( $D_m$ ),
- l'abrasion due au courant de ruissellement d'intensité  $R_x$ ,
- l'état d'humectation antérieur du sol en tant que facteur agissant sur ses propriétés mécaniques ainsi que sur sa détachabilité.

#### ***XIII.1. L'effet de l'énergie des averses sur la détachabilité des sols***

L'érosivité de WISCHMEIER et SMITH se calcule en multipliant l'énergie cinétique de l'averse par son intensité maximale pendant 30 minutes ; l'érosivité cumulée des averses (SEV) a souvent été utilisée dans la quatrième partie pour fixer une limite aux comportements des sols qui soit compatible avec la manifestation d'événements climatiques naturels.

L'énergie cinétique d'une averse se calcule en tenant compte du cumul des énergies cinétiques des gouttes de pluie. Celles-ci étant liées à la masse des gouttes, donc à leur diamètre, dépendent également de la vitesse de leur impact. Pour une averse donnée, l'énergie globale est ainsi liée à la densité des impacts par unité de surface donc à l'intensité de la pluie et au cumul des impacts dans le temps, donc à la hauteur de l'averse.

Les réglages préliminaires de l'appareil de simulation de pluie (cf. troisième partie) ont permis d'agir sur certaines de ces caractéristiques pour obtenir des diamètres de goutte et des vitesses d'impact aussi voisins que possible de ceux des précipitations naturelles.

Fig. V.1.: Effet de l'énergie des averses sur la détachabilité des sols - relation  $CM1 = f(EV)$  -

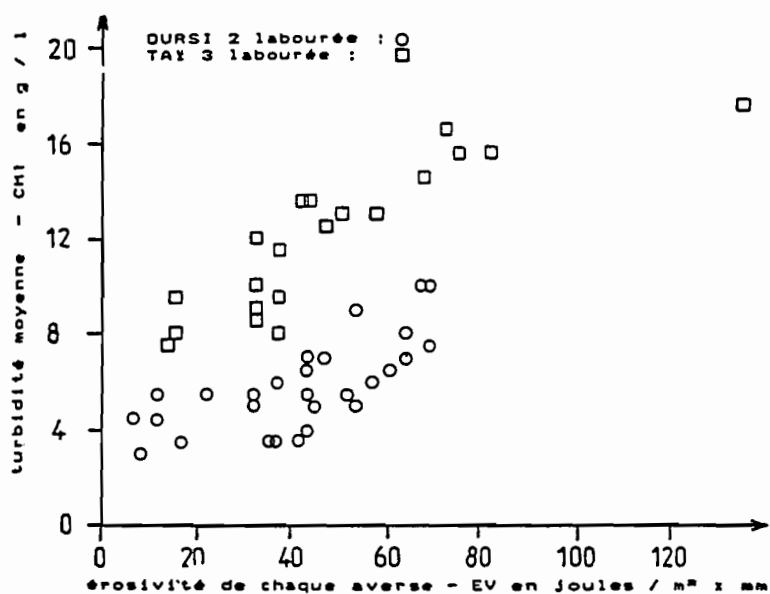


Figure V.1a

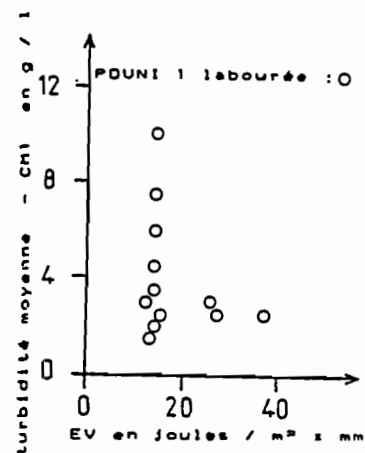


Figure V.1d

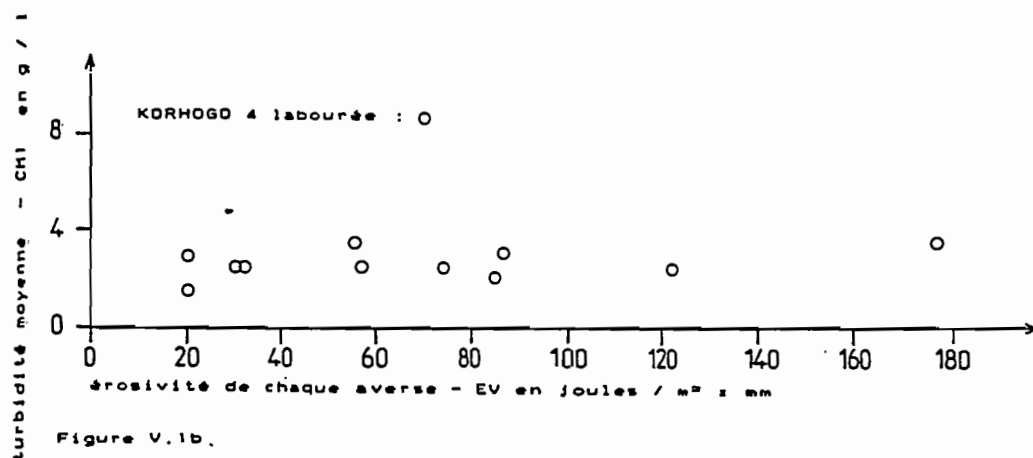


Figure V.1b.

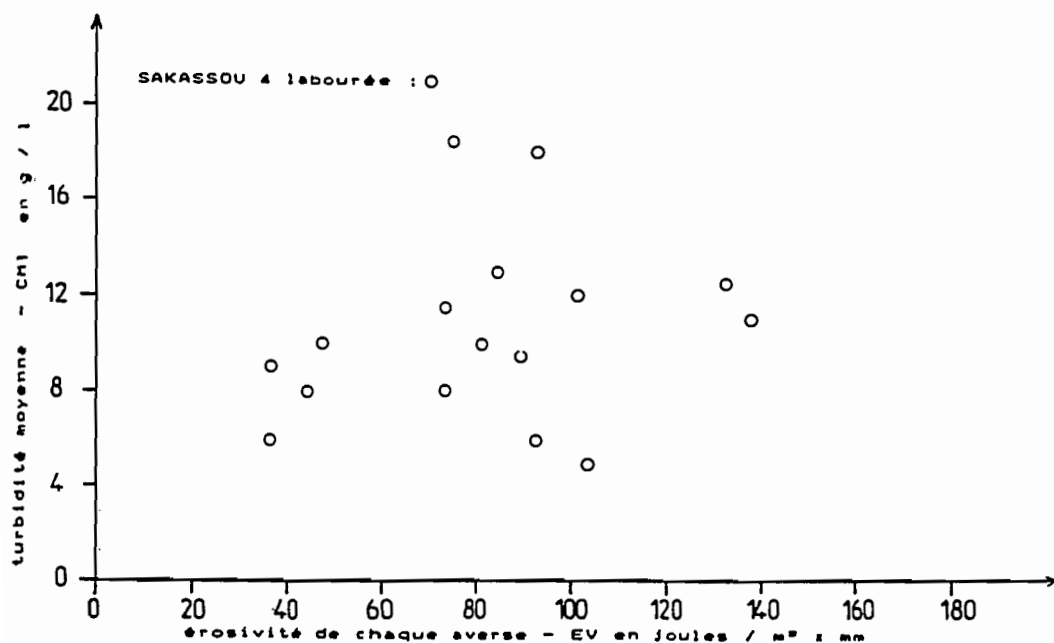


Figure V.1c

Si, dans l'étude des comportements globaux, l'érosivité par averse, ou l'érosivité cumulée sur une série d'averses, sont d'une utilisation satisfaisante, elles présentent par contre l'inconvénient d'une redondance de l'effet des intensités lorsqu'il s'agit d'étudier les mécanismes intimes de l'érosion. En effet, cette intensité intervient à deux reprises :

- une première fois, dans le calcul du cumul des énergies cinétiques (Ec) de l'averse avec :

Ec averse = joules x hauteur de la pluie \* / mètres carrés

\* soit intensité en mm/h x temps

- une seconde fois dans le calcul de l'érosivité (EV) avec

EV = Ec de l'averse x intensité maximale de l'averse simulée pendant 30 minutes \*\*

\*\* soit = Im qui est l'intensité moyenne de l'averse simulée.

Dans un **premier temps**, on peut supposer que les charges moyennes CM1 croissent régulièrement avec les différentes érosivités des averses successives. Rappelons que CM1 se calcule de la façon suivante :

$$CM1 = E/10 L$$

avec E = érosion totale d'une averse, en kilogrammes par hectare,

L = lame ruisselée d'une averse, en millimètres,

10 = coefficient pondérateur tenant compte des changements d'unités de poids et de superficie.

Pour vérifier cette hypothèse, la relation  $CM1 = f(EV)$  a été établie sur 37 sols initialement labourés afin d'homogénéiser les situations expérimentales. L'analyse des 37 diagrammes de dispersion se rapportant à cette relation montre que cette hypothèse n'est vérifiée que dans 24 % des cas (figure V.1.a.). On découvre par ailleurs que cette charge moyenne :

- reste à peu près constante quelles que soient les érosivités dans 39 % des cas (figure V.1.b.),

- dessine un nuage de points dans 27 % des cas (figure V.1.c.),

- croît indépendamment de l'érosivité dans 10 % des cas (figure V.1.d.).

Le seul effet de l'érosivité sur la détachabilité n'est donc pas prouvé. On peut supposer : (a) qu'il y a cumul de son effet d'une averse à la suivante, (b) que la charge moyenne CM1 est la résultante de toutes les composantes de l'érosion, et qu'elle ne permet donc pas d'isoler celles issues de la dissipation de l'énergie des gouttes de pluie (effet "splash") ou de la remobilisation des sédiments abandonnés sur la parcelle à la fin de l'averse antérieure (effet "stock").

C'est pour tenter d'isoler plus strictement ces composantes que l'on retiendra , dans un **deuxième temps** non plus la charge moyenne CM1 mais celle fournie par le premier échantillon collecté tout au début des ruissellements (C1 en g/l). Cet échantillon C1 sera étudié en fonction de l'énergie cinétique (Ec) et non plus en fonction de l'érosivité (EV).

**XIII.1.1. Les effets de la variation des énergies cinétiques des averses sur des parcelles labourées initialement sèches.**

Les protocoles expérimentaux utilisés sur les trois sites d'OURSI (de l'amont à l'aval de la géoséquence) permettent de réaliser cette analyse car, sur chacun des sites, sont installés quatre couples de parcelles recevant respectivement des averses à 30, 60, 90 et 120 mm/h.

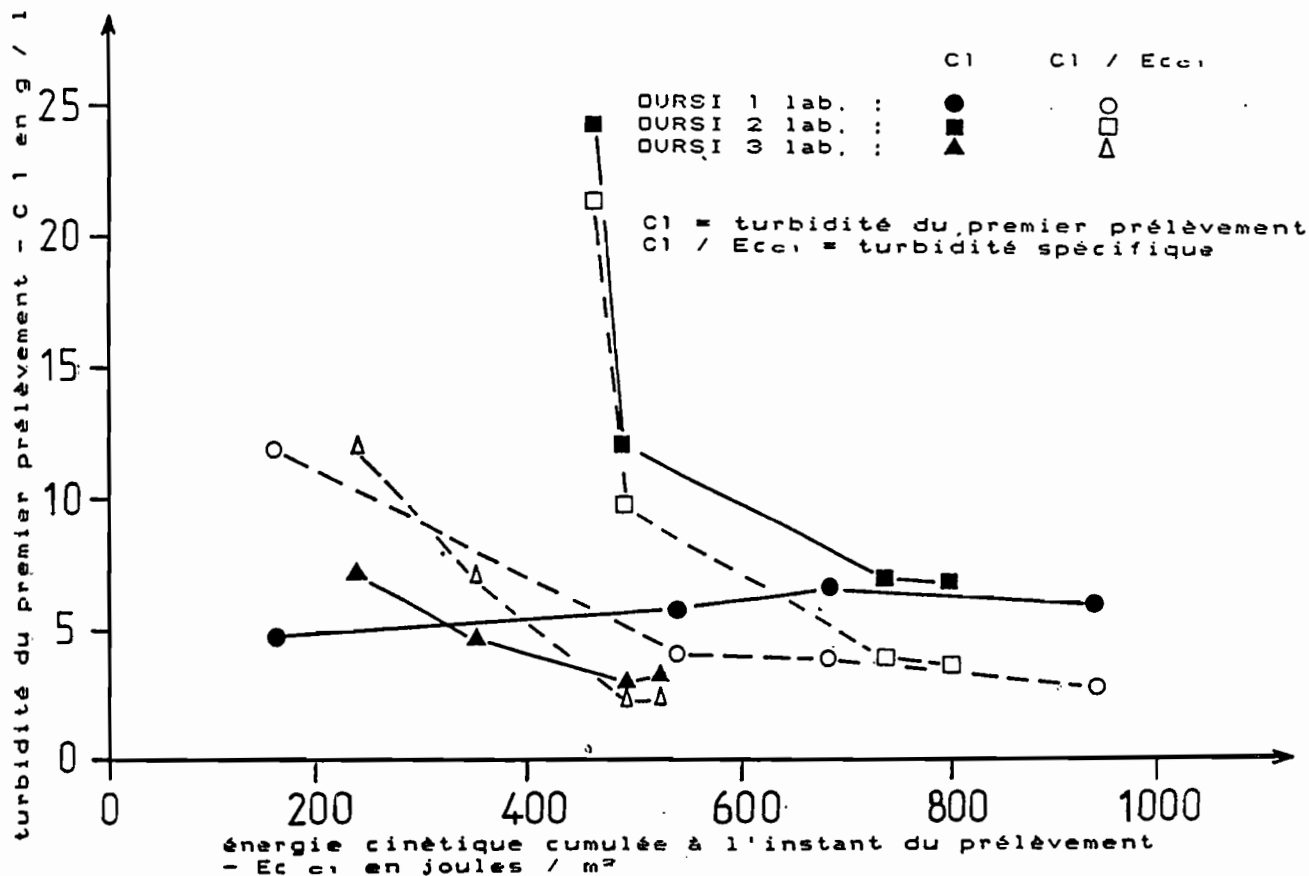
Comme dans le cas précédent, on ne retiendra que les réactions de parcelles labourées présentant donc en surface une terre motteuse débarrassée de tous débris végétaux. L'analyse porte ainsi, cette fois, sur la relation :

$$C1 = f(E_{CC1})$$

avec :  $C1$  = charge solide du premier prélèvement (g/l),

$E_{CC1}$  = énergie cinétique de la pluie cumulée jusqu'à l'instant du prélèvement de  $C1$  (joules/m<sup>2</sup>)

Comme il est techniquement impossible de multiplier le nombre des parcelles pour pouvoir observer les effets d'une gamme étendue d'intensités sur le même sol initialement sec, l'effectif des données est limité à 4 points. Malgré cela, on constate deux types de réactions (figure V.2.) :



**Fig. V.2.: Effet de l'énergie de l'averse sur la turbidité des premiers ruissellements - relation  $C1 = f(E_{CC1})$  -**



(a) sur OURSI 1 qui est le sol isohumique sub-aride, sableux de l'amont, l'hypothèse d'une détachabilité croissant avec l'énergie des pluies est vérifiée, on note cependant que cet effet reste modeste,

(b) sur OURSI 2 (sol isohumique brun vertique, argilo-sableux) et sur OURSI 3 (sol ferrugineux tropical lessivé, sableux grossier), on observe, contrairement au cas précédent, une diminution plus ou moins rapide de la détachabilité ce qui est contraire à l'hypothèse de départ.

La réaction des parcelles ne peut donc pas se réduire à celle d'une simple désagrégation des structures sous l'impact des gouttes. Ces parcelles constituent des milieux réactifs, susceptibles d'acquérir des résistances au-delà de certains seuils d'énergie. Ces résistances peuvent se manifester très rapidement puisque les prélèvements C1 interviennent, au moins sur OURSI, quelques minutes après le début des averses. Elles se traduisent par une modification des états de surface originels jusqu'à l'apparition d'une nouvelle organisation structurale et texturale métastable (dans une fourchette d'énergie donnée).

On peut aussi représenter l'intensité de cette modification en dégageant une détachabilité spécifique par parcelle et, pour ce faire, analyser la relation :

$$C1/E_{C1} = f(E_{C1})$$

avec  $C1/E_{C1}$  = charge solide par unité énergétique (en grammes  $\times$  mètres carrés/litre  $\times$  joule),

On constate alors que ces détachabilités spécifiques, qui devraient être constantes si l'on avait affaire à un milieu non réactif (averses tombant sur des agrégats de stabilité structurale constante), diminuent plus ou moins rapidement et de façon non monotone. Les fonctions traduisant la relation précédente sont hyperboliques et de la forme :

$$y = a \times x^{-m}$$

où l'exposant "m" amène une discrimination assez nette entre les sols sableux à faible évolution de détachabilité et les sols argileux vertiques à très forte évolution. Cette détachabilité se stabilise pour les sols sableux fins (OURSI 1) et grossiers (OURSI 3), son évolution se poursuit, par contre, pour les sols argilo-sableux vertiques d'OURSI 2.

#### *XIII.1.2. Les effets de la variation des énergies cinétiques des averses sur des parcelles labourées initialement humides*

En dehors du cas particulier des essais menés sur le site d'OURSI, les autres protocoles expérimentaux prévoient des trains d'averses à intensités variables, dont on peut alors suivre les répercussions sur la détachabilité des sols labourés et humides.

Ainsi, dans un protocole, peuvent être intercalés :

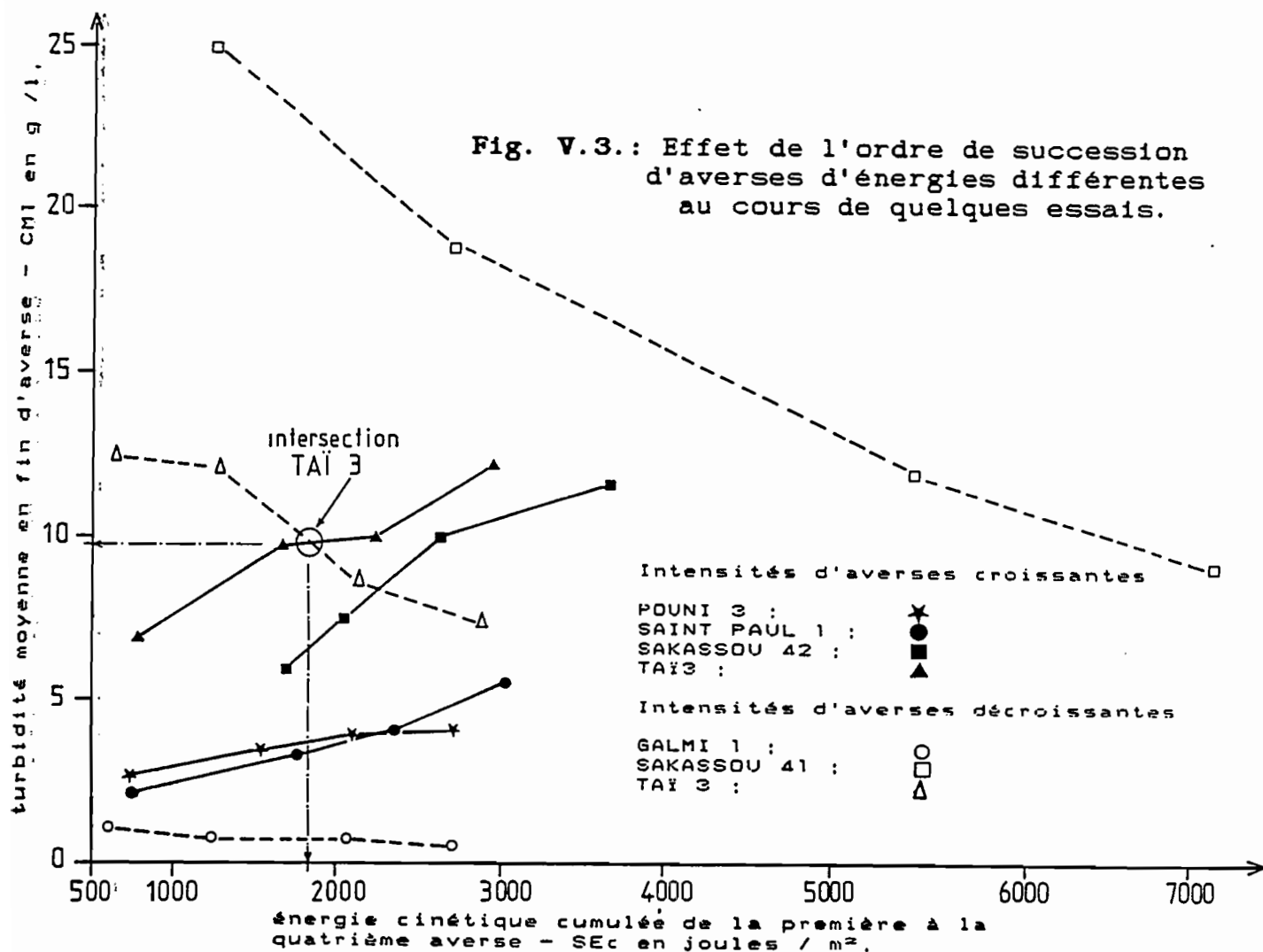
- des averses d'intensités croissantes de 30 à 120 mm/h,

• des averses d'intensités décroissantes de 120 à 30 mm/h.

La figure V.3. représente 7 exemples de parcelles illustrant la relation :

$$CM1 = f(SEC)$$

...avec SEC = énergie cinétique cumulée de la première à la quatrième averse.



On notera :

(a) qu'il est plus logique d'exprimer les variations de CM1 en fonction d'énergies cumulées plutôt qu'en raison des énergies individuelles parce que les variations d'intensités se produisent successivement sur le même sol,

(b) que l'on s'est efforcé de ne retenir que des trains d'averses séparés par des temps de ressuyage ( $T_a$ ) identiques ou très voisins afin d'atténuer l'effet de ce facteur, qui sera isolé dans le chapitre XIII.4.

Dans le cas d'averses à intensités croissantes, la détachabilité croît de façon monotone avec l'énergie cumulée sur POUNI 3 et SAINT PAUL 1; cet accroissement est, par contre, irrégulier sur SAKASSOU 42 et TAÏ 3. Comme CM1 est obtenu en pondérant l'érosion par la lame d'eau ruisselée, on pourrait objecter que cette augmentation de la détachabilité peut être le résultat d'une diminution progressive du ruissellement, donc d'une diminution concomitante de la dilution des éléments détachés et mobilisés d'une averse à la suivante. Ce n'est pas le cas pour POUNI 3, SAINT PAUL 1 et TAÏ 3 où les lames ruisselées sont identiques. Les lames ruisselées augmentent sur SAKASSOU 42 mais cet accroissement contribuerait plutôt à atténuer l'augmentation de la détachabilité qui, dans le cas d'une dilution constante, devrait être encore plus importante que celle qui est observée.

Dans le cas d'averses à intensités décroissantes (GALMI 1, SAKASSOU 41 et TAÏ 3), on observe une diminution régulière des détachabilités qui, comme précédemment, ne sont pas imputables à des augmentations des lames ruisselées, et l'on remarque surtout que cette diminution s'observe malgré une augmentation des énergies cumulées d'une averse à la suivante.

La comparaison de ces deux cas prouve que l'évolution des détachabilités ne résulte pas tant de la somme des énergies dissipées au niveau du sol que des énergies des averses individuelles et surtout de l'ordre de succession d'averses d'énergies différentes. Au niveau de la surface du sol, ceci amène les commentaires suivants :

- le sol réagit aux énergies cinétiques des pluies en organisant autant d'états d'équilibre qu'il se manifeste de contraintes et l'on retrouve ici la conclusion du paragraphe précédent,

- lors de variations discontinues d'énergie, le changement d'organisation se manifeste par une modification de la détachabilité et le nouvel état d'équilibre dépendra de l'état d'équilibre initial, donc du degré de contrainte ayant amené cet équilibre initial,

- si tous les autres facteurs restent constants (même matériaux et même temps de ressuyage), il doit donc être possible de retrouver tout au long des protocoles expérimentaux une réaction spécifique d'un niveau d'énergie donné. Ceci s'est vérifié sur la parcelle TAÏ 3 où les deux courbes illustrant la relation précédente se recoupent en un point de quasi-homothétie repéré par la valeur  $CM1 = 9,8 \text{ g/l}$  pour  $SEc = 1,8 \text{ kilojoules/mètre carré}$ ,

### *XIII.1.3. Conclusion partielle*

L'effet de l'énergie des pluies sur la détachabilité des sols paraît non conforme à l'hypothèse de départ : cet effet est difficile à isoler strictement sur parcelle expérimentale, où l'on assiste très rapidement à une modification du matériau originel, parce qu'il ne s'applique pas au même matériau. Cette difficulté de tester une organisation superficielle de caractéristiques constantes se manifeste déjà sur les sols labourés initialement secs, où l'on constate très rapidement une diminution des détachabilités spécifiques avec l'augmentation des énergies.

Sur les sols humides, subissant des averses d'énergies variables, la détachabilité ne varie pas en raison directe du cumul de l'énergie mais plutôt avec l'énergie des pluies individuelles. Des averses consécutives et d'intensités décroissantes provoquent une diminution de la détachabilité, des averses d'intensités croissantes, une augmentation.

Ces variations de détachabilité ne traduisent pas forcément une stabilisation ou une dégradation des sols puisqu'elles sont plus ou moins réversibles. Cette réversibilité est liée à l'adaptation dynamique des organisations superficielles du sol aux seuils énergétiques successifs. Mais cette adaptation est fonction de l'ordre d'apparition des contraintes et de l'état d'équilibre initial atteint par le sol. Il apparaît donc que de nombreux sols peuvent "s'auto-stabiliser". C'est ce qui produit dans les cas évoqués dans le chapitre X où l'érosion globale se résout finalement à la seule composante de l'érosion en nappe. Ce n'est, par contre, plus le cas de sols soit argileux, soit sableux, où se manifeste une érosion concentrée (cf. figure IV.46.). Ce deuxième cas de figure ne peut pas s'expliquer par le seul effet de l'énergie des pluies sur les agrégats ou sur les sédiments, il s'explique par l'interventions d'autres facteurs qui sont : (a) le micromodelé, (b) l'interception de l'énergie et (c) la compétence du courant de ruissellement et l'abrasion de ce courant. Ces derniers facteurs seront analysés dans les développements qui suivent.

### ***XIII.2. L'interception de l'énergie des averses par la lame d'eau ruisselante***

Lors de l'analyse des comportements globaux des sols, le rôle de l'épaisseur de la lame d'eau détenue sur la surface du sol pendant l'averse ( $D_m$ ) sur l'interception de l'énergie des pluies avait été évoqué de la manière suivante dans le chapitre VIII (\*) : "sur les plus faibles pentes, les structures instables s'effondrent rapidement ce qui entraîne un lissage du sol donc un étalement homogène de la lame d'eau détenue superficiellement pendant le ruissellement et une interception générale de l'énergie des pluies .."

On se propose maintenant d'examiner cette hypothèse en l'étayant par l'analyse de quelques exemples. La démarche passe par différents stades qui sont :

- l'identification des causes de la variation d'épaisseur de  $D_m$ ,
- la vérification d'une relation entre l'évolution des charges solides issues principalement de l'effet "splash" et cette hauteur  $D_m$ ,
- l'analyse des autres situations, non conformes à l'hypothèse.

#### ***XIII.2.1. Les causes de cette interception***

L'interception de l'énergies des pluies, peut avoir deux causes :

---

(\*) on ne considère ici que l'interception due à  $D_m$  à l'exclusion de celle causée par les épandages superficiels d'éléments grossiers ou les végétaux.

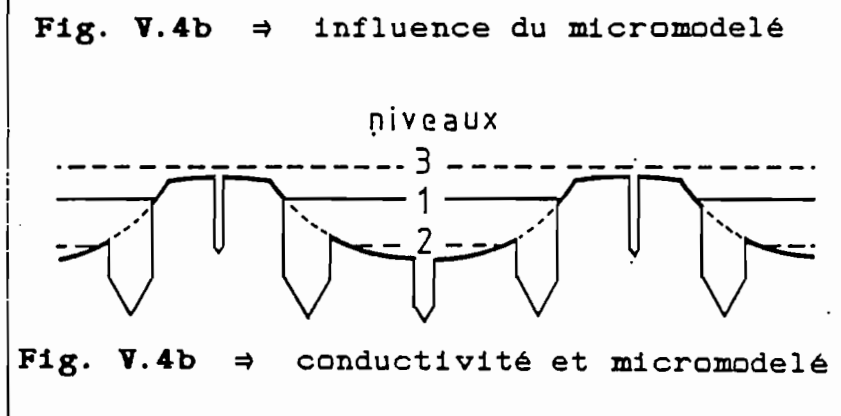
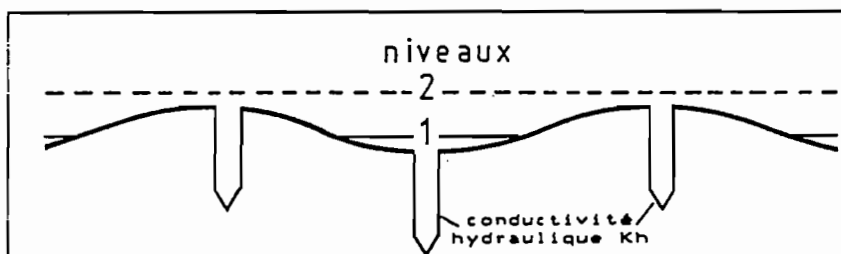
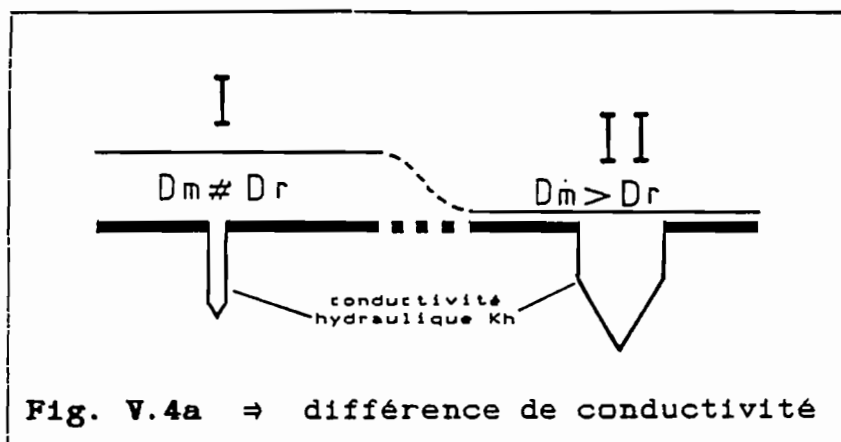
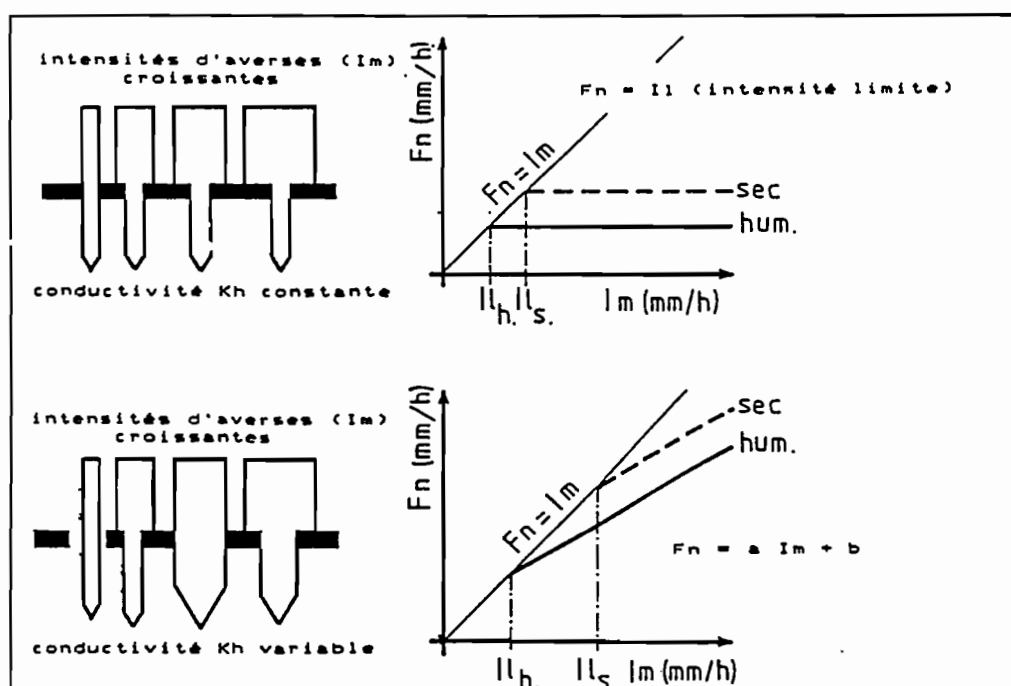


Fig. V.4.: Différentes origines des variations d'interception de l'énergie des pluies.





- la variabilité spatiale de la conductivité hydraulique du sol ( $K_h$ ),
- la microtopographie de la parcelle.

La première cause résulte de l'hétérogénéité du comportement hydrique de la parcelle, celle-ci est schématisée sur la figure V.4.a.

Malgré sa planité, une parcelle ne présente pas forcément en tous points une conductivité hydraulique homogène : sa variabilité spatiale peut être la conséquence de différences dans les organisations structurales et texturales de la surface des sols, en zones sèches, ou encore des caractéristiques physiques des horizons de profondeur, en zones humides (où,  $K_h$  de surface >>  $K_h$  de profondeur).

Dans les secteurs (I sur la figure V.4.a) où, pour les raisons précédentes, la conductivité hydraulique est faible, l'infiltration reste peu importante tout au long de l'averse : la lame d'eau détenue superficiellement pendant l'averse ( $D_m$  qui est calculée) est peu différente de celle qui est récupérée par les ultimes ruissellements après la fin de la pluie ( $D_r$  qui est mesurée). Les hauteurs de  $D_m$  ou de  $D_r$  varient en fonction des caractéristiques des averses mais, sur l'ensemble du protocole, atteignent généralement des valeurs élevées.

Dans d'autres secteurs (II sur la figure V.4.a), à conductivité élevée, l'infiltration est importante, la hauteur  $D_m$  est faible et  $D_m > D_r$ .

On peut concevoir, que sur une parcelle, puisse se juxtaposer des secteurs générateurs de ruissellements importants, où l'interception de l'énergie des pluies est rapide et intense, et des secteurs, où le ruissellement sera différé jusqu'à ce que se produise une saturation des macroporosités profondes : sur ce dernier, l'interception sera nulle puis faible, et restera liée à la partition entre l'infiltration et le ruissellement.

La seconde cause résulte de la microtopographie de la parcelle (figure V.4.b.), qu'il s'agisse d'une parcelle en son état naturel ou d'une parcelle dont les ondulations résultent de pratiques culturales. On a déjà évoqué, dans la quatrième partie, au chapitre VIII.1.1., le rôle des microdépressions du sol sur l'allongement de la pluie d'imbibition et sur la durée du régime constant du ruissellement. Cette seconde cause d'interception de l'énergie des pluies est plus complexe :

- d'abord, parce que la lame d'eau ruisselante a une répartition hétérogène et détermine l'ennoyage des creux, où les régimes d'infiltration passent, pour partie, sous la dépendance de charges hydrostatiques sensiblement plus importantes que celles résultant de l'aspersion,

- ensuite, parce que la dissipation de l'énergie des pluies sur les microreliefs continuellement exondés est susceptible de modifier plus intensément que dans le cas précédent les structures superficielles, donc leur conductivité,

- enfin, parce que le micromodelé peut lui-même évoluer tout au long des averses, et cette évolution modifie la localisation des sites poreux comme cela a déjà été expliqué dans la quatrième partie (chapitre VIII et IX).

### XIII.2.2. L'hétérogénéité du comportement hydrique des parcelles et sa quantification.

L'hétérogénéité du comportement hydrique des parcelles peut être mise en évidence et quantifiée par une relation liant l'intensité d'infiltration à régime constant ( $F_n$ ) aux intensités des pluies simulées ( $I_m$ ). Cette relation étudiée par LAFFORGUE et NAAH (1976) ; LAFFORGUE (1977) ; COLLINET et LAFFORGUE (1979) ; COLLINET et VALENTIN (1979, 1980) ; VALENTIN (1980) ; CASENAVE (1982), montre que  $F_n$  peut varier en fonction de  $I_m$ .

Cette dépendance, qui peut paraître étonnante, traduit en fait la variabilité latérale de la conductivité  $K_h$  de la parcelle humide (figure V.5) :

- Si  $K_h$  est constant,  $F_n$ , qui dépend du déficit de saturation du sol, devient égale à  $K_h$  lorsqu'en tous points de la parcelle,  $I_m$  devient supérieur à  $K_h$  (figure V.5.a).

- Si  $K_h$  varie d'un point à un autre, pour toutes causes évoquées précédemment, le nombre de points où  $I_m > K_h$  augmente jusqu'à une intensité maximale de  $I_m$  (pour laquelle  $I_m > K_h$  partout (figure V.5.b.)). Cette limite supérieure est rarement déterminée, elle est souvent élevée et au-delà des possibilités techniques de l'appareil. La fonction  $F_n(I_m)$  est donc croissante et monotone, elle est de la forme :

$$F_n = a I_m + b$$

où le paramètre de pente "a" fournit une information sur l'hétérogénéité des comportements hydriques des parcelles, si les échelles des variables portées sur les deux demi-axes restent constantes.

Sur une parcelle donnée, il existe tout un faisceau de droites  $F_n(I_m)$  correspondant à différents états d'humectation antérieurs des sols, et dont les pentes varient en raison des modifications de la conductivité globale ( $K_h$ ) des parcelles (figure V.5.c).

On remarque que l'intersection de la droite  $F_n(I_m)$  avec la bissectrice  $F_n = I_m$  détermine, par projection sur l'axe des abscisses, un point correspondant à l'intensité minimale de la pluie provoquant le premier ruissellement ou intensité limite "Il".

En sélectionnant les couples de données  $I_m$ ,  $F_n$ , correspondant à des états d'humectation antérieurs identiques, il devient possible de quantifier, classer et comparer les hétérogénéités de comportements hydriques des parcelles résultant de la variabilité spatiale de leurs conductivités  $K_h$ . Cette comparaison a été obtenue :

- en codifiant les paramètres de pente "a" de 1 à 6 selon :

- 1 :  $a \neq 0$ , (comportements homogènes)
- 2 :  $0 < a < 0,05$  ( id. )
- 3 :  $0,05 < a < 0,15$  (comportements faiblement hétérogènes)
- 4 :  $0,15 < a < 0,25$  (comportements hétérogènes)
- 5 :  $0,25 < a < 0,50$  ( id. )
- 6 :  $a > 0,50$  ( id. )



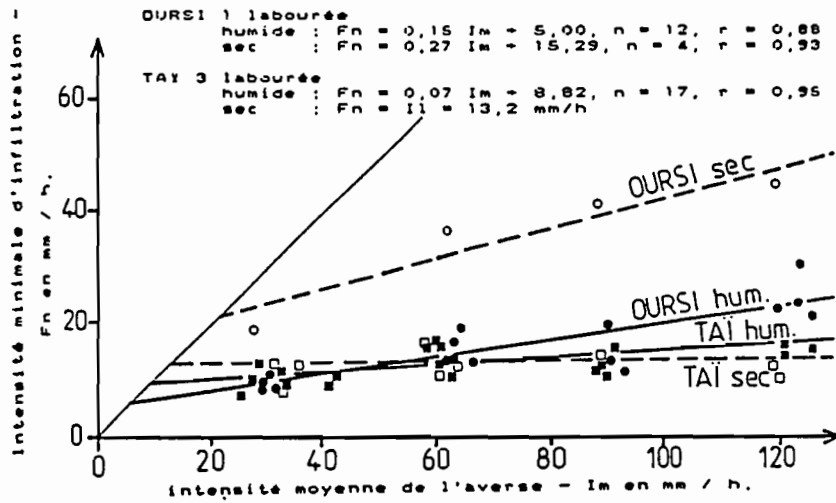


Fig. V.5c.: Exemples d'expressions de la relation  $F_n = f(I_m)$  sur sols initialement secs et humides.

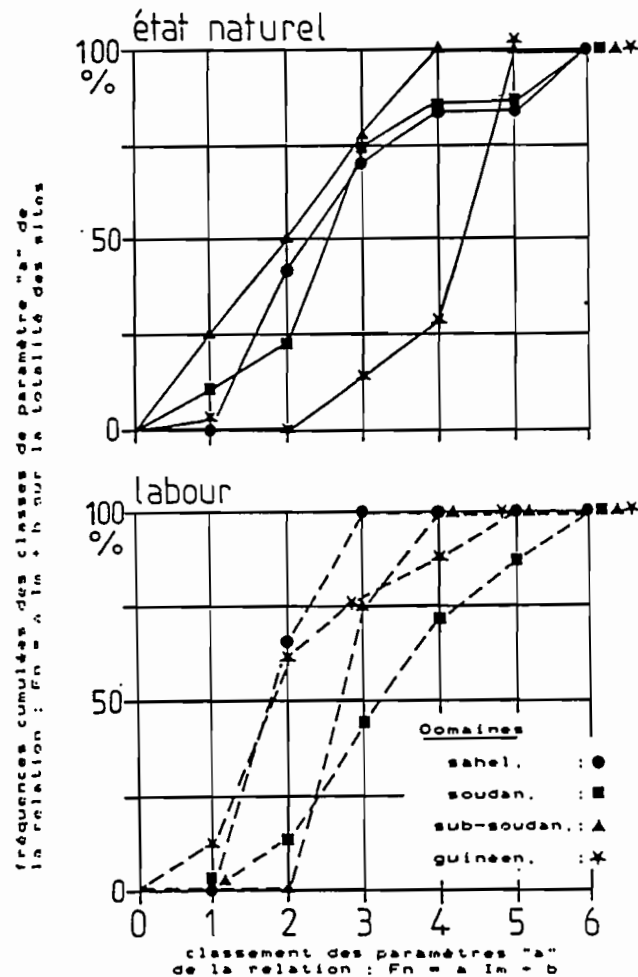


Fig. V.5d.: Séparation des types de comportements hydriques, par domaine climatique, et par traitement, en résolvant  $\Rightarrow F_n = a I_m + b$

- et en exprimant les pourcentages des fréquences cumulées de ces codes par domaines pédo-climatiques pour les parcelles en leur état naturel ou labouré.

La figure V.5.d. représente les différentes courbes cumulatives ainsi obtenues pour les sols humides ; ce mode de représentation sépare nettement les sols des zones guinéennes de ceux des zones soudaniennes et sahéliennes.

Les sols ferrallitiques des zones guinéennes présentent des comportements hydriques fortement hétérogènes en leur état naturel, ils deviennent, par contre, homogènes lorsqu'ils sont labourés. Les sols ferrugineux des zones soudaniennes présentent une distribution plus régulière des comportements, de l'homogène à l'hétérogène, surtout en leur état labouré. Les sols isohumiques et ferrugineux des zones sahéliennes présentent une distribution plus sensiblement centrée sur des comportements homogènes surtout s'ils sont labourés.

En représentant les variations conjointes des paramètres "a" des parcelles naturelles et labourées, on dégage des informations complémentaires qui amènent les commentaires suivants (figure V.5.e.) :

- d'une façon générale, l'humectation des sols meubles des zones guinéennes et soudano-guinéennes entraîne une homogénéisation des comportements des sols naturels et labourés (cf. schéma synthétique n° 1). On remarque aussi que l'amplitude de cette modification est directement liée à la position latitudinale des parcelles, ce phénomène correspond à un colmatage des porosités superficielles de sols initialement très perméables selon des processus déjà signalés en de nombreuses occasions,

- en présence d'éléments grossiers épendus régulièrement sur la surface (KORHOGO 2 et 3, TAÏ 1), on observe un processus contraire d'hétérogénéisation, soit simultanément sur les deux parcelles (cf. schéma synthétique n° 2), c'est par exemple le cas de KORHOGO 2, soit limitée uniquement à la parcelle naturelle (cf. schéma synthétique n° 3), c'est par exemple le cas de TAÏ 1. Par contre, la parcelle labourée s'homogénéise comme précédemment, ces réactions s'expliquent de la façon suivante :

- à l'état sec ou ressuyé, la conductivité Kh est surtout contrôlée par les horizons supérieurs, cette conductivité est élevée du fait de la présence d'éléments grossiers (deux parcelles de KORHOGO 2) ou d'éléments grossiers + cavités biologiques (parcelle naturelle de TAÏ 1),

- lors des averses successives, et comme Kh de surface >> Kh des horizons profonds, le front d'humectation, en descendant, rencontre différentes limites d'isodifférenciations d'horizons, ainsi se révèle-t-il progressivement des différences successives de Kh en profondeur. L'homogénéisation du comportement de TAÏ 1 labouré correspond à la destruction des cavités biologiques naturelles et, dès lors, au contrôle de Kh uniquement dû aux éléments grossiers et introduisant qui introduisent une uniformisation de son comportement hydrique.

- en zone sèche (OURSI et GALMI p. ex.), on constate peu de variations entre les états secs et humides des sols naturels et labourés. Ceux-ci gardent un comportement homogène illustré par le nuage de points à proximité de l'origine des deux demi-axes (cf. schéma synthétique n° 4) ; seuls les sols

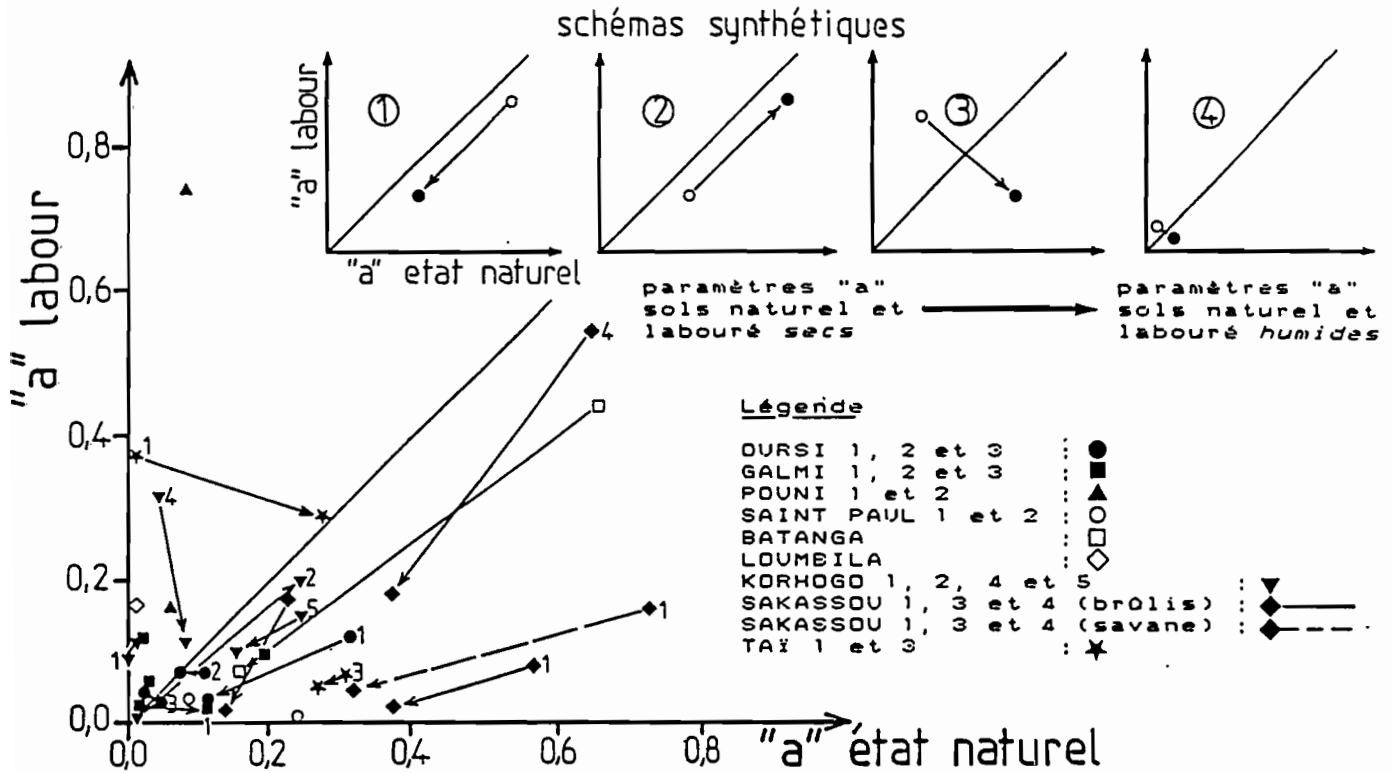


Fig. V.5e.: Evolutions conjointes des comportements hydriques des parcelles "naturelles" et "labourées", de l'état sec à l'état humide.

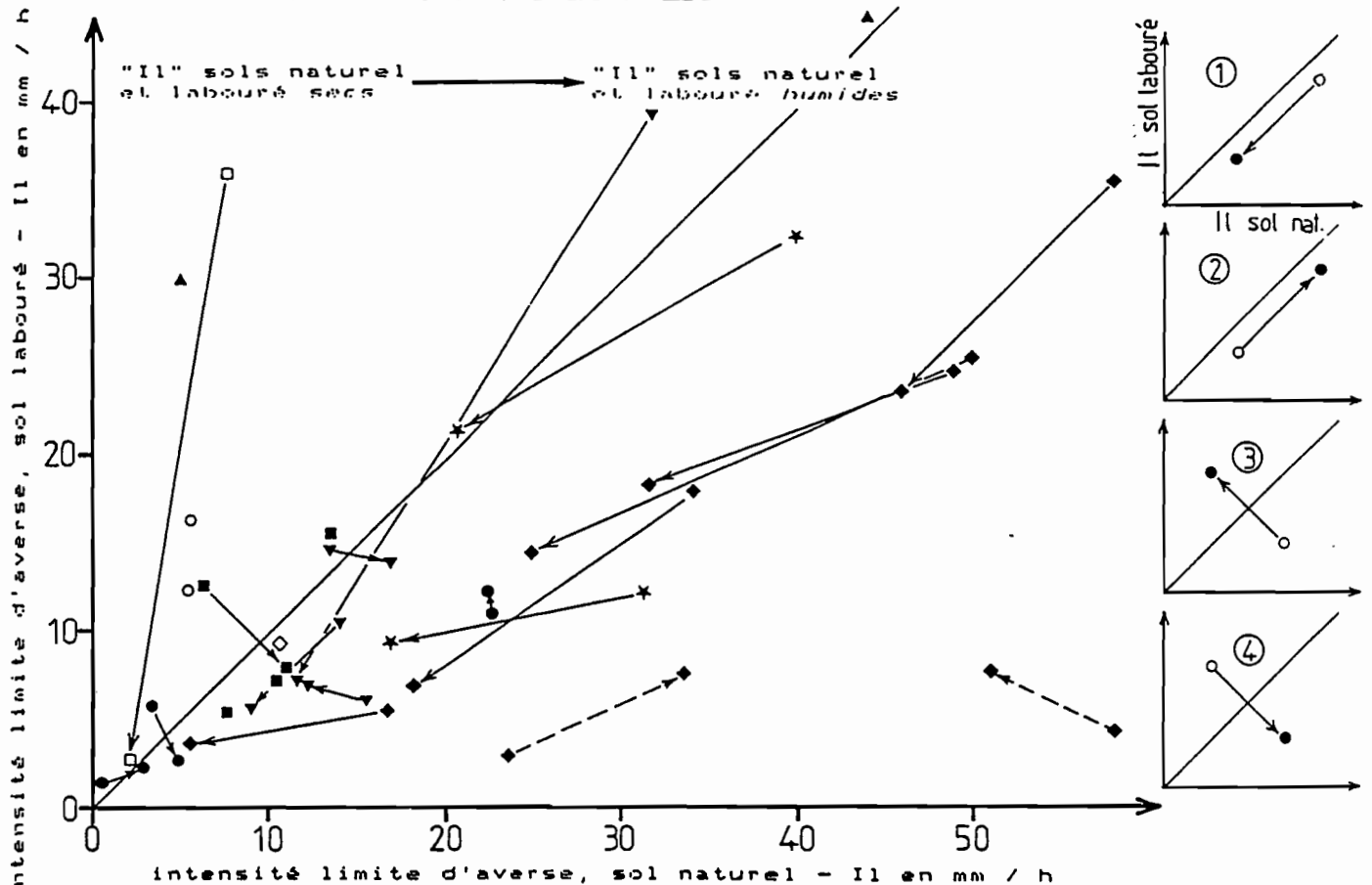


Fig. V.5f.: Evolutions conjointes des intensités limites de la pluie à l'origine des premiers ruissellements (Il) sur parcelles "naturelles" et "labourées", de l'état sec à l'état humide.

gravillonnaires se positionnent différemment lorsqu'ils sont labourés (POUNI 2 p. ex.).

Cette analyse de l'homogénéité des comportements ne fournit cependant pas d'informations sur l'infiltrabilité des sols. Pour préciser ce second point, on adopte le même mode de représentation que précédemment mais en portant cette fois sur les demi-axes les valeurs des intensités limites de la pluie provoquant le premier ruissellement (Il) ; on constate sur la figure V.5.f. :

- une nette séparation des sols ferrallitiques des zones guinéennes par rapport aux sols ferrugineux et isohumiques des zones sèches,

- les variations de Il sont liées au déficit de saturation des sols aussi observe-t-on généralement : Il sol sec > Il sol humide sur les parcelles naturelles et labourées (cf. schéma synthétique n° 1) mais il existe quelques exceptions où : Il sol sec < Il sol humide sur l'une ou (et) l'autre des parcelles :

- sur SAKASSOU 1 naturelle et labourée (schéma synthétique n° 2),
- sur SAKASSOU 2 labourée en saison des pluies (schéma synthétique n° 3),
- sur OURSI 3, GALMI 1 en leur état naturel (cf. schéma synthétique n° 4),

...les raisons de ces modifications de Il, non conformes aux variations des déficits de saturation sont multiples :

- il peut s'agir de l'influence d'horizons superficiels hydrophobes, c'est probablement le cas de SAKASSOU 1 dont les horizons organiques sont envahis par des turricules de vers (cf. description de ce profil en annexe),

- il peut s'agir de difficultés de dégazage des horizons superficiels à fort gradient de conductivité et, alors, seules les analyses micromorphologiques peuvent apporter une vérification car ce dégazage s'accompagne de la formation de microhorizons particuliers qui seront identifiés et décrits dans cette cinquième partie, au chapitre XIV.,

- on constate enfin que les plus fortes amplitudes de variations de Il correspondent aux sols ferrallitiques des zones guinéennes et les plus faibles aux sols ferrugineux ou isohumiques des zones sèches ; cette différence confirme ce qui a été déjà développé précédemment : en zone guinéenne, c'est la conductivité hydraulique de l'ensemble du sol qui doit être considérée, en zone sèche, c'est celle de l'extrême surface du sol qui intervient prioritairement.

Les modifications spatiales de la conductivité  $K_h$ , qui sont à l'origine des variations d'épaisseur de  $D_m$ , donc à celle de l'interception des énergies des pluies, peuvent être en partie liées à la microtopographie des sols puisque celle-ci oriente leurs réorganisations texturales et structurales, donc leur porosité. Les variations d'épaisseur de  $D_m$  sont aussi évidemment liées à une répartition des dépressions, or les relations présentées précédemment ne donnent qu'une information partielle sur la géométrie de la parcelle, aussi doivent-elles être confortées par une caractérisation plus directe.

### XIII.2.3. L'hétérogénéité topographique des parcelles et sa quantification

Il s'agit maintenant de connaître quelles sont les proportions restant exondées après l'apparition du régime permanent du ruissellement.

On a d'abord essayé une évaluation directe en repérant les niveaux atteints par la lame ruisselante par rapport aux levés topographiques et par rapport aux caractérisations des états de la surface du sol. Cette méthode n'est relativement précise que dans le cas d'ondulations très accentuées résultant, par exemple, d'un billonnage et sa mise en oeuvre reste sujette à de nombreux risques d'erreur dans les autres cas.

Il est par contre possible de calculer un coefficient fournissant une évaluation des aspérités du sol (coefficient de rugosité) et également un coefficient donnant les proportions de parcelle donnant lieu à une infiltration après la fin de l'averse et correspondant donc aux dépressions canalisant le ruissellement pendant l'averse.

Ces coefficients sont issus d'une analyse de la phase de vidange réalisée par LAFFORGUE (1977) sur des données provenant de la première mission de simulation de pluies au Burkina Faso en 1975. Cette analyse est assez complexe dans son développement et ne sera pas reprise ici où l'on se limitera à la présentation des principaux résultats.

LAFFORGUE part de la formule de CHEZY et MANNING (1891) reprise par HORTON (1938) et relative aux écoulements dans les canaux découverts pour dégager différents paramètres caractérisant les ultimes écoulements de la phase de vidange. Il met en évidence une relation existant entre la détention superficielle récupérable par le ruissellement ( $Dr$ ) à deux paramètres caractéristiques de l'état de la parcelle : "A" ou "coefficient de MANNING" qui dépend de ses caractéristiques physiques (longueur, pente et rugosité) et un coefficient  $\omega$  qui représente la proportion de zones déprimées faisant office de drains du ruissellement.

Cette relation liant  $Dr$  à A et  $\omega$  met également en jeu l'intensité maximale du ruissellement permanent ( $R_x$ ) ainsi que l'intensité minimale de l'infiltration à régime constant ( $F_n$ ) lui correspondant sous une pluie simulée d'intensité  $I_m$ .

$$Dr = A (R_x^{1/2} - \omega F_n^{1/2} \times \arctg (R_x \times F_n)^{1/2}) \quad (1)$$

- A est déterminé graphiquement, il correspond à l'intersection des deux droites de régression :

- $A_0 = f(F_n)$  relative à  $\omega = 0$  et où...

$$A_0 = \frac{Dr}{(R_x)^{1/2}}$$

- et  $A_1 = f(F_n)$  relative à  $\omega = 1$  et où ...

$$A_1 = \frac{Dr}{(R_x)^{1/2} - (F_n)^{1/2} \times \arctg (R_x/F_n)^{1/2}}$$

-  $\omega$  se trouve par itération en résolvant l'équation (1) pour toutes les averses de la même parcelle,

-  $A$  représente donc la résistance générale au ruissellement lorsque la longueur " $l$ " et la pente " $i$ " sont connues. Il est possible de calculer la rugosité " $n$ " de cette parcelle en reprenant la formule de MANNING et l'on a :

$$n = 2,189 \times A^{5/3} \times i^{1/2} \times l^{-1}$$

-  $D_m$  qui représente, rappelons-le, la lame d'eau détenue superficiellement pendant la phase de régime permanent diffère peu de  $D_r$  dans le cas de parcelles planes et peu perméables. Par contre,  $D_m > D_r$  dans le cas de parcelles perméables et, connaissant  $A$ , il devient possible de le calculer :

$$D_m = A \times (R_x^{1/2})$$

Le coefficient " $n$ " qui quantifie toutes rugosités du sol susceptibles de ralentir le courant de ruissellement n'a pas à intervenir dans une analyse visant à déterminer une interception d'énergie par une lame d'eau. Mais il en sera tenu compte lorsqu'il s'agira de quantifier les interceptions provenant de solides occupant la surface du sol (obstacles minéraux ou végétaux).

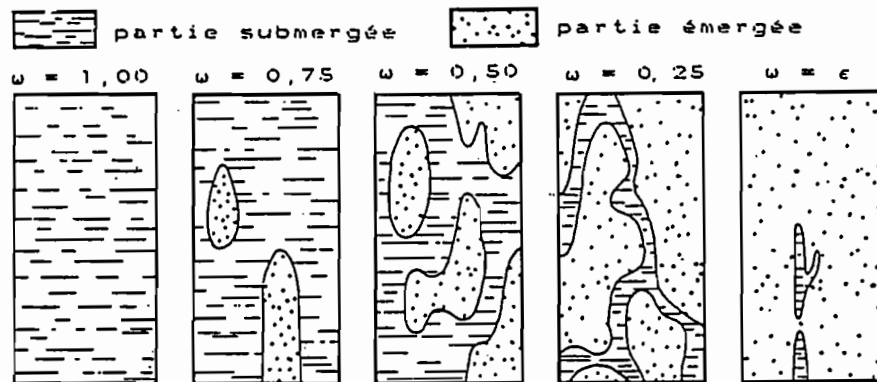


Fig. V.6.: Coefficient " $\omega$ " = superficie de parcelle offerte à l'infiltration dès l'arrêt de la pluie

Le coefficient  $\omega$  fournit, par contre, une information intéressante concernant les portions de parcelle exondées pendant la phase du régime permanent du ruissellement. On constate, sur les schémas de la figure V.6, que les coefficients  $\omega$  voisins de 1 ou, à l'opposé, très petits, indiquent les parcelles les plus planes, en effet, pour  $\omega$  voisin de 1 les écoulements se répartissent sur l'ensemble de la parcelle tandis que pour  $\omega = \epsilon$  ils se concentrent en un faible réseau de rigoles laissant exondée la majorité de la superficie de la parcelle ; les valeurs de  $\omega$  voisines de 0,5 correspondent ainsi aux micromodelés les plus accentués.

Les différents paramètres relatifs, d'une part, au comportement hydrique (chapitre XIII.2.2.), d'autre part, à la topographie de la parcelle, sont regroupés dans le tableau LXVIII reporté en annexe. Les colonnes 3 à 7 rassemblent les paramètres issus de la relation  $F_n(I_m)$ , il s'agit de :

- $h$  = détermination des humidités antérieures des parcelles selon l'indice d'humidité de KOHLER (paragraphe V.1.4.1.) selon trois classes : "s" sol initialement sec, "r" sol ressuyé, "h" sol humide, ceci permettant de sélectionner les couples de données  $F_n$ ,  $I_m$ ,

- $a$  et  $b$  = pente et ordonnées à l'origine des droites de régression de  $I_m$  en  $F_n$ ,

- $r$  = coefficient de corrélation et test de signification de ce coefficient,

- $I_l$  = intensité limite de l'averse provoquant les premiers ruissellements (mm/h).

Les colonnes 8, 9 et 10 regroupent les coefficients de MANNING "A" et  $n$  et les proportions de drains  $\omega$ .

#### *XIII.2.4. Les effets de l'interception, distinction des composantes de l'érosion*

Selon l'hypothèse de départ, l'énergie cinétique des pluies se dissipe sur une lame d'eau  $D_m$  ou directement sur des portions de sol exondées  $1 - \omega$ . La démarche adoptée consiste à exprimer les variations de la charge solide en fonction des variations de la hauteur de  $D_m$ . Cette charge solide doit être représentative du processus de désagrégation sous l'impact des gouttes, il convient donc de retenir plutôt une charge solide résultante =  $C_s - C_x$  avec :

- $C_s$  = pic de turbidité,

- $C_x$  = turbidité en palier,

telles qu'elles ont été définies dans la quatrième partie (paragraphe VIII.1.2.).

Mais  $C_s - C_x$  représente la somme de deux charges :

- charge solide provenant de la désagrégation par effet splash ( $C_{sp}$ ),

- charge solide représentant les sédiments abandonnés sur la parcelle par perte de compétence des ultimes écoulements de la phase de vidange ( $C_{st}$ ).

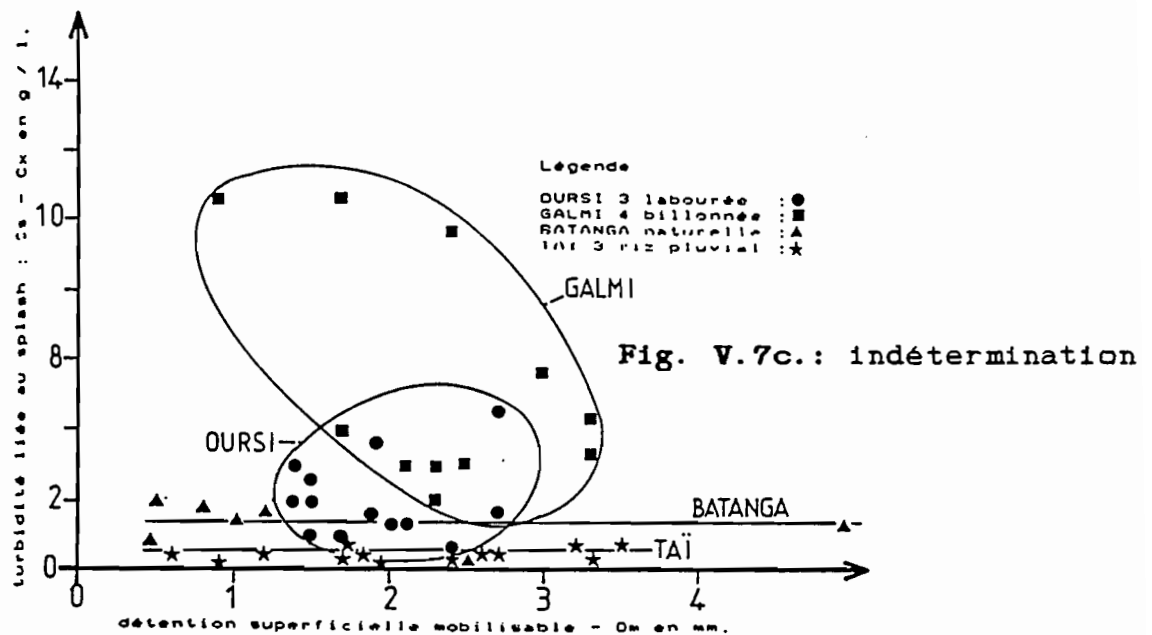
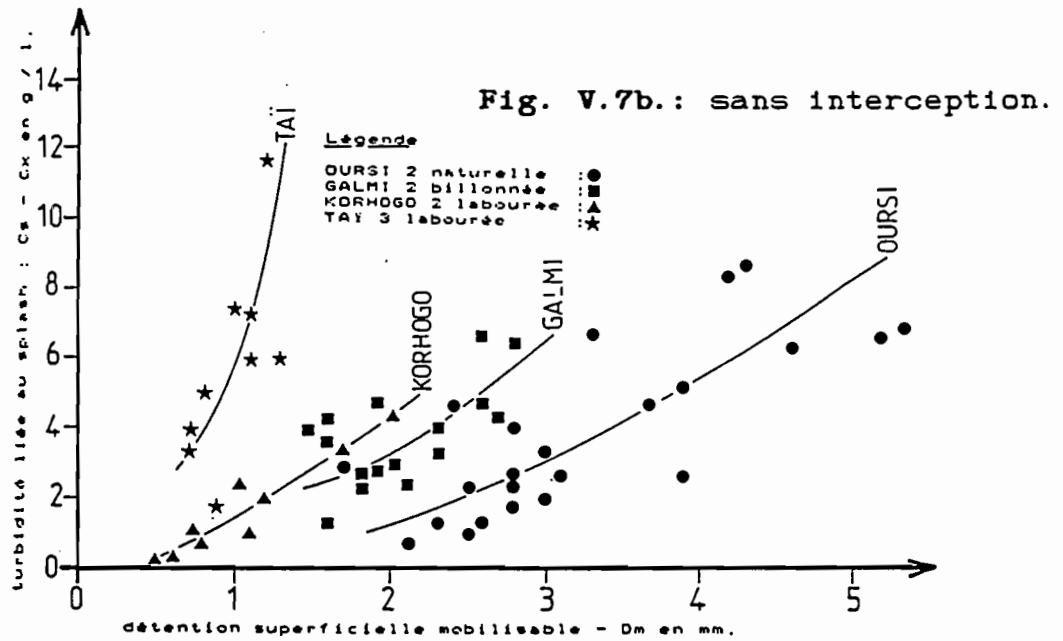
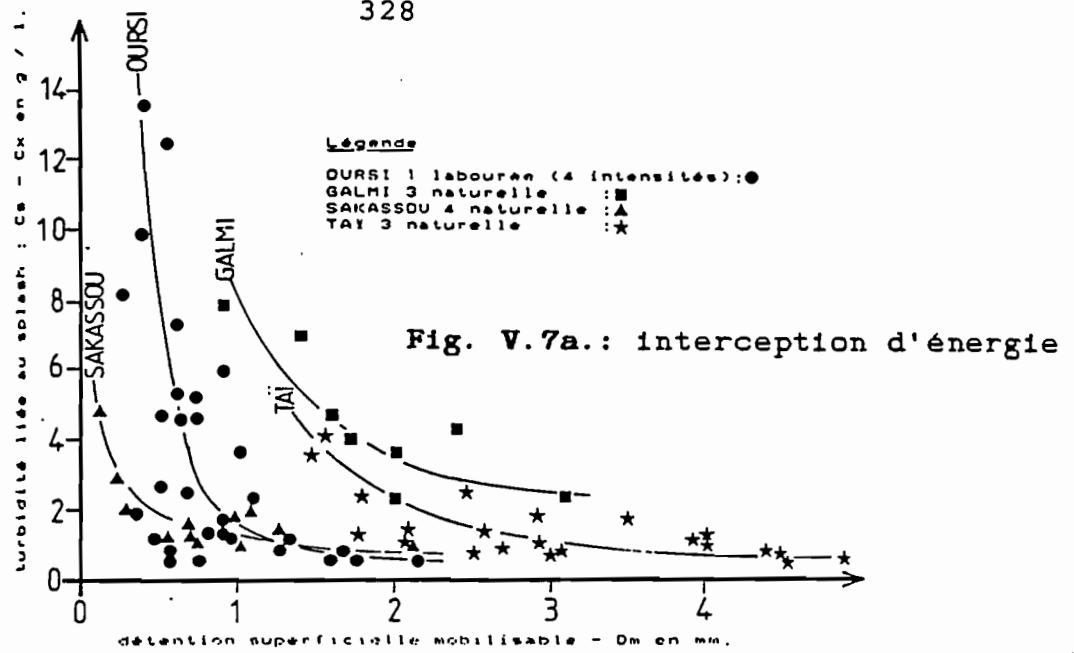
Cette composante  $C_{st}$  subit aussi l'effet splash mais il est difficile de savoir dans quelles proportions ces sédiments sont susceptibles de réagir comme le sol en place, aussi cette composante risque-t-elle de majorer la résultante  $C_s - C_x$ . Il faudrait donc pouvoir l'isoler et, pour ce faire, on dispose de quelques solutions :

- sélection de temps de ressuyage ( $T_a$ ) suffisamment longs pour obtenir une consolidation de ces sédiments dès lors assimilables à un sol en place,

- sélection d'averses présentant des périodes d'imbibition suffisamment longues pour majorer la composante  $C_{sp}$  et rendre négligeable la composante  $C_{st}$ ,

- sélection d'averses dont les intensités  $I_m$ , soient supérieures à une intensité  $I_{m_0}$  , afin de minimiser la composante  $C_{st}$ .

Aucune de ces solutions n'est entièrement satisfaisante sur une parcelle de 50 m<sup>2</sup>, en effet :



**Fig. V.7.: Atténuation du "splash" par l'épaisseur de la lame ruisselante "Dm", étude de la relation  $Cs - Cx = f(Dm)$ .**



- pour certains sédiments granulométriquement classés par décantation, des temps  $T_a$  suffisamment longs amènent la formation de copeaux de dessiccation remobilisables par le courant de ruissellement,

- dans de nombreux cas, les pluies d'imbibition  $P_i$  sont faibles sur les sols humides.

Aussi, dans la plupart des cas, c'est la troisième solution qui fut retenue.

L'analyse a porté sur des diagrammes de dispersion illustrant l'expression  $C_s - C_x$  ( $D_m$ ) pour des sols naturels, labourés à plat et billonnés ; la sélection des couples  $C_s - C_x$ ,  $D_m$ , ne pouvant s'obtenir que sur des parcelles fournissant des turbidigrammes de types 1, 2 et 6, les résultats portent sur 45 parcelles, ce qui est suffisant pour confirmer ou infirmer dans les différents cas l'hypothèse de départ. On a ainsi pu mettre en évidence **trois types de réactions** :

- **conformément à l'hypothèse**, l'effet interception se manifeste par une diminution plus ou moins importante de la résultante  $C_s - C_x$  avec l'augmentation de lame  $D_m$ , c'est par exemple le cas des parcelles : OURSI 1 labourée, GALMI 3 naturelle, SAKASSOU 4 naturelle, TAÏ 3 défrichée (figure V.7.a.),

- **contrairement à l'hypothèse**, non seulement l'effet interception ne se manifeste pas, mais encore les résultantes  $C_s - C_x$  croissent-elles avec  $D_m$  : OURSI 2 naturelle, GALMI 2 billonnée de façon isohypse, KORHOGO 2 labourée, TAÏ 3 labourée (figure V.7.b.),

- **il y a indépendance des variables**  $C_s - C_x$  et  $D_m$  : OURSI 3 labourée (nuage de points), GALMI 4 billonnée de façon isohypse (nuage de points), TAÏ 3 en rizières pluviales ( $C_s - C_x = \text{constante}$ ), (figure V.7.c.).

Ces réactions peuvent se commenter sous la forme d'un tableau LXIX représentant une articulation en 4 niveaux de comportements des différentes parcelles :

- 1er niveau : rappel des évolutions érosives globales détectées par l'expression  $CM_2$  (SPu) montrant soit une dégradation, soit une stabilisation des détachabilités (chapitre X),

- 2ème niveau : discrimination des trois types de réactions précédents selon l'expression  $C_s - C_x(D_m)$ ,

- 3ème niveau : identification des deux principales orientations de l'érosion selon la typologie des turbidigrammes déterminée par l'expression  $C = f(t)$ , érosion en nappe et érosion concentrée,

- 4ème niveau : identification des comportements hydriques liée à la variabilité spatiale de la conductivité hydraulique ( $K_h$ ) et au micromodèle ( $\omega$ ).

La distribution des parcelles dans les différentes rangées des colonnes 3 et 4 s'explique à l'aide de quelques exemples caractéristiques mais, notons auparavant que certains "itinéraires comportementaux" sont très improbables parce qu'une dégradation continue des sols est incompatible avec la manifestation d'un effet intercepteur de l'énergie des pluies (itinéraire marqué (1) sur le tableau LXIX).

**Tableau LXIX**  
Modalités de l'érosion liée aux effets du splash  
et du courant de ruissellement

1 <sup>er</sup> niveau	2 <sup>ème</sup> niveau	3 <sup>ème</sup> et 4 <sup>ème</sup> niveaux	
CH2 = f (SPu)	Cs-Cx = f(Dm)	Erosion en nappe	Erosion concentrée
DEGRADATION DES SOLS	↑	Korhogo 2 labourée <i>Galni 1 naturelle</i> <i>Galni 2 naturelle</i> <i>Galni 2 billons, isoh</i> <i>St. Paul 2 naturelle</i> <i>St. Paul 2 labourée</i>	(4) <i>Korhogo 1 labourée</i>
	⊕	<i>St. Paul 1 labourée</i> Tai 1 défrichée <i>Korhogo 5 labourée</i>	(5) Pouni 1 labouré Tai 1 labourée <i>Galni 3 billons lon.</i>
	↓	?	(1) ?
STABILISATION DES SOLS	↑	Gursi 2 naturelle Tai 3 rizières <i>Gursi 2 labourée</i>	(3) <i>Korhogo 1 naturelle</i>
	⊕	<i>Galni 4 billons isoh</i> <i>St. Paul 1 naturelle</i> Loubila 1 labourée Korhogo 2 naturelle Korhogo 5 naturelle Sakassou 2 labour sp Tai 1 rizières <i>Gursi 3 naturelle</i> <i>Galni 1 labourée</i> <i>Pouni 1 naturelle</i> <i>Pouni 3 naturelle</i> <i>Pouni 3 labourée</i> <i>Korhogo 4 naturelle</i> <i>Tai 3 labourée</i>	(5) Batanga 1 naturelle Sakassou 1 labour sp Sakassou 2 labourée <i>Gursi 3 labourée</i> <i>Galni 4 naturelle</i>
	↓	Gursi 1 naturelle <i>Galni 3 naturelle</i> Sakassou 3 savane sp Sakassou 4 naturelle Tai 3 naturelle <i>Loubila naturelle</i> <i>Pouni 2 naturelle</i>	(2) Gursi 1 labourée <i>Batanga labourée</i>

**Légende**

- comportements hydrodynamiques homogènes en *italique*,
- comportements hydrodynamiques hétérogènes en caractères droits
- ↑ = fonction croissante,
- ⊕ = variables indépendantes,
- ↓ = fonction décroissante.
- (1), (2), (3), (4), (5): références au texte.

- itinéraire 2  $\Rightarrow$  il y a stabilisation de l'érosion avec le cumul des pluies et l'interception par la lame ruisselante est le mécanisme expliquant cette stabilisation sur 30% des parcelles :

• Exemple d'OURS I 1 labourée, sol brun rouge sub-aride sableux de la zone sahélienne (figure V.7.a.) : la charge solide  $C_s - C_x$  diminue tandis que  $D_m$  augmente, l'amplitude de cette diminution varie en raison inverse de l'intensité des pluies, ceci s'explique par une augmentation de  $D_m$  avec  $I_m$  donc par une dissipation croissante de l'énergie des pluies, on a en effet :

$D_m$ de 0,2 à 0,5 mm pour $I_m$ # 30 mm/h	
0,5 à 0,8 mm	60 mm/h
0,8 à 1,0 mm	90 mm/h
1,0 à 1,7 mm	120 mm/h

...36 % des ruissellements sont canalisés ce qui explique la possibilité de manifestations d'érosions concentrées détectées par près de 40 % de turbidigrammes de types 3 et 5, l'hypothèse de départ est donc vérifiée, l'hétérogénéité de ce sol, lorsqu'il est sec ou ressuyé, est due à la conjonction du micromodelé et de la variabilité spatiale de  $K_h$ , le micromodelé intervient par contre seul à l'état humide.

• Exemple de TAÏ 3 défrichée traditionnellement, sol ferrallitique sablo-argileux meuble de la zone guinéenne forestière (figure V.7.a.) : l'effet interception est important pour des valeurs de  $D_m$  comprises entre 1,5 et 3,0 mm, au-delà de 3,0 mm l'énergie des pluies se dissipe quasi totalement et alors la charge solide  $C_s - C_x$  devient à peu près constante. L'hétérogénéité du comportement hydrique est la conséquence de la seule variabilité de  $K_h$  ce que l'on constate aisément sur le terrain où subsistent çà et là de nombreux drains d'origine biologique (galeries, terriers, racines mortes) ; l'hypothèse de départ est vérifiée.

- itinéraire 3  $\Rightarrow$  il y a également stabilisation de l'érosion avec le cumul des pluies mais l'interception ne se manifeste pas puisque la charge  $C_s - C_x$  croît avec  $D_m$  sur environ 10% des parcelles :

• Exemple d'OURS I 2, sol brun sub-aride vertique, sablo-argileux puis argileux de la zone sahélienne, caractérisé par un comportement hydrique hétérogène aux états sec et ressuyé quel que soit son traitement (naturel ou labouré), il devient, par contre, homogène à l'état humide. Les charges  $C_s - C_x$  sont multipliées par 10 pour des hauteurs  $D_m$  passant de 1,5 à 6,0 mm où l'effet interception est dissimulé par une érosion en nappe prédominante confirmée par des turbidigrammes de types 1, 2 et 6. Cette érosion en nappe s'exerce au dépens de matériaux argilo-sableux atteignant rapidement leur limite de liquidité du fait de faibles stabilités structurales ( $Mg/T > 50\%$ ). Si son comportement global tend néanmoins vers une atténuation de la charge moyenne  $CM_2$ , c'est parce qu'il s'y produit une ablation progressive de microhorizons à fortes différenciations verticales (cf. caractérisation du profil en annexe) résultant des effets de l'alternance des phases d'humectation et de dessiccation. La stabilisation traduit alors l'apparition de microhorizons moins réactifs vis-à-vis de ces alternances après le départ des sédiments facilement mobilisables. Ce processus est d'ailleurs confirmé par une forte charge  $C_s - C_x$  où  $C_s$  correspond essentiellement à la composante "stock" ( $C_{st}$ ). En fin de protocole, son comportement hydrique devient homogène ce qui résulte

à la fois du lissage de la parcelle, où disparaissent tous indices de canalisation, et d'une conductivité hydraulique homogène et uniformément faible comme le montre un coefficient de ruissellement KR2 proche de 90 %.

- itinéraire 4  $\Rightarrow$  la détachabilité moyenne CM2 augmente plus ou moins régulièrement tout au long des averses tandis que la charge Cs - Cx augmente avec Dm (14% des parcelles) :

• Exemple de SAINT PAUL 2, sol ferrugineux tropical lessivé sableux grossier puis sablo-argileux ; présente un comportement hydrique homogène quel que soit son traitement (naturel ou labouré). Ses charges solides Cs - Cx augmentent fortement de 0,2 à 8,0 g/l pour des lames Dm passant de 0,1 à 1,7 mm, ces dernières variant donc dans des limites étroites. Les parcelles naturelles y sont très planes ( $\omega$  voisin de 0,01 %) et il en va de même pour les parcelles labourées ( $\omega$  voisin de 0,04 %) où, du fait d'une faible stabilité structurale, les mottes s'effondrent dès la première pluie : planité des parcelles + faible hauteur de la lame Dm + dégradation croissante caractérisent un mode d'érosion particulier où l'impact des gouttes entraîne une turbulence du ruissellement s'opposant à l'auto-stabilisation de la parcelle. L'effet splash est entretenu sur l'ensemble de la parcelle parce que l'interception est faible et l'abrasion est aussi la conséquence de la turbulence du courant de ruissellement ; l'hypothèse de départ reste encore vérifiée mais par un effet dérivé.

• Exemple de KORHOGO 2 labourée à plat, sol ferrallitique remanié gravillonnaire, sablo-argileux puis argileux, en zone soudano-guinéenne. Il présente un comportement hydrique homogène aux états sec et ressuyé, devient hétérogène à l'état humide ; cette modification est fréquente dans les zones humides et sub-humides où les variations de la conductivité Kh sont liées à la descente du front d'humectation. (cette cinquième partie, paragraphe I.2.2.). Les charges Cs - Cx croissent régulièrement avec Dm, l'interception des énergies des pluies est de moins en moins assurée par Dm et de plus en plus par les gravillons provenant de la désagrégation des mottes de labour, ceux-ci restent cependant "enchassés" dans les reliquats de mottes et la protection qu'ils assurent est moins efficace que celle des gravillons simplement posés sur le sol (POESEN et SAVAT, 1981 - VALENTIN, 1982 ; cette particularité apparaît nettement si l'on compare les relations Cs - Cx (Dm) des sols labourés et non remaniés (figure V.7.b.).

- itinéraire 5  $\Rightarrow$  pour 46% des parcelles, les variables Cs - Cx et Dm sont indépendantes (figure V.7.c.), cette indépendance se manifeste de deux façons :

- la charge Cs - Cx reste plus ou moins constante (10% des parcelles),
- l'indétermination est totale et se traduit par un nuage de points (36% des parcelles).

Dans le premier cas, si la relation CM2(SPu) indique une stabilisation de la détachabilité sur sol meuble, l'effet intercepteur de la lame Dm joue également, mais la portion de courbe correspondant aux plus faibles hauteurs de Dm n'est pas détectable sur 50 m<sup>2</sup> de parcelle (SAINT PAUL 1 naturelle, KORHOGO 5 naturelle p. ex.). Il s'agit aussi de sols à éléments

grossiers (POUNI 1 naturelle, KORHOGO 2 naturelle p. ex.) où le rôle de  $D_m$  est estompé par cette autre cause d'interception.

Dans le second cas, l'analyse de la relation  $C_s - C_x (D_m)$  n'apporte aucune information et doit donc être orientée vers d'autres voies (GALMI 4 en billons isohypses, OURSI 3 labourée p. ex.), (figure V.7.c.).

### *XIII.2.5. Conclusion partielle*

La détachabilité des sols, liée à l'effet splash, peut être limitée par une interception de l'énergie des pluies liée à la lame d'eau détenue superficiellement ( $D_m$ ) pendant la phase du régime permanent du ruissellement.

Cet effet interception est d'autant plus intense que la lame  $D_m$  est plus épaisse.

La hauteur de  $D_m$  dépend, d'une part, de la variabilité spatiale de la conductivité hydraulique de la parcelle ( $K_h$ ), à cette variabilité se rattache la notion d'homogénéité ou d'hétérogénéité du comportement hydrique de la parcelle.

On peut quantifier cette variabilité en étudiant la relation entre l'intensité minimale d'infiltration à régime constant ( $F_n$ ) et l'intensité moyenne de l'averse simulée ( $I_m$ ) : lorsque  $K_h$  est constante sur l'ensemble de la parcelle,  $F_n = K_h$  saturée, sinon  $F_n$  croît de façon monotone et la pente de la droite de régression de  $I_m$  en  $F_n$  fournit une information sur l'hétérogénéité de la parcelle, donc sur l'abondance des zones où se produit l'interception et une diminution de l'effet splash.

L'interception résulte, d'autre part, des plus ou moins amples ondulations du sol ménageant : (a) des dépressions collectant la lame  $D_m$  et (b) des microreliefs exondés sans interception d'énergie des pluies. Un coefficient  $\omega$ , calculé à partir du coefficient  $A$  de MANNING, permet d'évaluer les proportions de parcelles collectant les ultimes ruissellements, donc celles déterminables par  $1 - \omega$  où le film d'eau intercepteur est le plus mince.

La connaissance des réactions hydrodynamiques des parcelles et de leur microtopographie permet de sélectionner les cas où l'effet interception est le plus vraisemblable. L'hypothèse de travail concernant le rôle de la lame  $D_m$  dans cette interception peut être exactement vérifiée sur 30 % des parcelles du transect.

L'analyse d'autres situations, non conformes à cette hypothèse, permet de démontrer l'existence d'autres mécanismes de l'érosion et notamment celui de l'entretien d'un flux de ruissellement turbulent par dissipation de l'énergie des pluies sur des lames  $D_m$  trop minces pour pouvoir réduire totalement l'énergie mais suffisantes pour mobiliser des éléments sous lame d'eau. Il s'agit d'un processus intermédiaire entre l'effet splash sur terre agrégée exondée et l'abrasion par le courant de ruissellement.

En passant de l'échelle de la parcelle à celle de l'interfluve, ce processus reste concevable moyennant quelques précautions dans cette extrapolation. De l'amont à l'aval, les causes, effets et résultats peuvent s'articuler de la façon suivante :

	AMONT	AVAL
<u>Causes</u> :	<ul style="list-style-type: none"> <li>• charge hydraulique faible</li> <li>• faible vitesse du courant de ruissellement</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• charge hydraulique importante (collecte des eaux de l'amont avec allongement du versant)</li> <li>• forte vitesse du courant de ruissellement</li> </ul>
<u>Matériaux</u> :	• sol en place	• colluvions sur sol en place
<u>Effets</u> :	<ul style="list-style-type: none"> <li>• splash important (Dm faible)</li> <li>• érosion en nappe de faible intensité par des eaux chargées</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• splash atténué (Dm haute)</li> <li>• érosion concentrée en chenaux et de forte intensité par des eaux peu chargées</li> </ul>
<u>Résultats</u> :	<ul style="list-style-type: none"> <li>• surface du sol plane</li> <li>• comportements hydriques de tendance homogène</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• surface du sol creusée en chenaux</li> <li>• comportements hydriques de tendance hétérogène</li> </ul>

Ce schéma reste cependant théorique et les nombreuses variantes résultent de la manifestation des événements pluviométriques ou de l'existence de différentes situations du milieu :

- les régimes pluviométriques (hauteur, intensité, répartition, régularité) orientent les déblais ou les remblais des colluvions de l'aval qui sont ensuite plus ou moins intensément évacués jusqu'au réseau hydrographique.

La partition entre une altération géochimique (dynamique à composante verticale dominante se traduisant par une "descente" des interfluves) et une érosion physique (dynamique à composante latérale plus ou moins profonde dominante se traduisant par un façonnement des profils des versants).

- la différenciation toposéquentielle originelle des sols impose des modifications dans : (a) les valeurs des conductivités hydrauliques, l'orientation des porosités et l'intensité des flux en résultant, et (b) la répartition et la charge en éléments relictuels de pédogénèses antérieures (concrétions, carapaces, cuirasses, stone-line.).

- la juxtaposition ou l'association des couverts végétaux, le développement et la pérennité des pratiques culturales, la dynamique biologique modifient les seuils d'équilibre, donc la stabilité des milieux et leur réaction aux contraintes précédentes.

### ***XIII.3. L'érosion liée au courant de ruissellement***

L'analyse de la détachabilité liée à l'énergie des pluies et de sa limitation par l'interception de cette énergie (chapitre XIII 1. et 2.) a montré

qu'une autre composante de l'érosion globale pouvait manifester ses effets : il s'agit de celle due à l'énergie abrasive du courant de ruissellement.

Si la détachabilité liée à l'effet splash peut se concevoir et être mise en évidence facilement, tant en laboratoire que sur le terrain, il en va tout autrement en ce qui concerne celle liée au courant de ruissellement et ce, pour différentes raisons :

- cette composante manifeste ses effets en même temps ou à la suite de la précédente,
- de ce fait, la charge solide qu'elle mobilise peut se confondre avec celle provenant du transport des éléments détachés par effet splash ou remobilisé à partir de sédiments meubles,
- il existe, d'autre part, des interactions entre la charge initiale des eaux de ruissellement et leur **capacité érosive**,
- il apparaît, enfin, que l'énergie abrasive du courant de ruissellement dépend de nombreux facteurs de l'environnement, tels que la pente, la longueur du versant, la rugosité superficielle du terrain et les caractéristiques mécaniques des sols pour différents états d'humectation.

Les effets de cette abrasion par une lame d'eau ruisselante sont multiformes dans le temps et dans l'espace : à une érosion en nappe ("sheet erosion" des auteurs anglo-saxons) peut succéder une érosion concentrée, active uniquement en des points particuliers de la surface du sol et y traçant des rigoles ("rill erosion"), ou y incisant des ravines ("gully erosion"). Si la topographie du sol n'est pas excessivement modifiée par l'érosion concentrée (stade "rigole" non dépassé p. ex.), on peut ultérieurement revenir à une érosion en nappe. Cette réversibilité des effets est fonction de l'énergie du courant de ruissellement et, à une échelle de temps plus petite, de la dynamique saisonnière du couvert végétal et (ou) de l'activité de la faune.

L'analyse de l'abrasion exclusivement due au courant de ruissellement passe par la même démarche que précédemment :

- identification des causes,
- mise en évidence des effets par l'intermédiaire d'exemples de réactions de parcelles,
- extension au niveau des interfluves.

#### *XIII.3.1. Les causes de l'abrasion du courant de ruissellement*

Elles sont multiples et souvent interactives, les trois principales étant :

- la vitesse du courant,
- sa charge,
- sa turbulence.

##### *XIII.3.1.1. La vitesse du courant de ruissellement*

Elle dépend de la **pente motrice** du terrain, de la **charge hydraulique** et de la **rugosité** du sol.

La détermination de la pente ne pose pas de problème et se mesure aisément dans le cas de parcelles à profil rectiligne correctement positionnées par rapport à la ligne de plus grande pente. La charge hydraulique est un paramètre calculé à partir des données obtenues à l'exutoire de la parcelle (chapitre XIII.2.), c'est donc une valeur moyenne intégrant les caractéristiques morphologiques de la parcelle et leur évolution éventuelle tout au long d'une averse. Elle peut être assimilée à la lame d'eau  $D_m$  détenue superficiellement pendant la phase du régime constant du ruissellement ; c'est une fonction puissance de l'intensité du ruissellement à régime constant  $R_x$ , de la forme :

$$D_m = A \times R_x^{0.5}$$

$A$  étant le coefficient de MANNING intégrant la rugosité, la pente et la longueur de la parcelle. L'analyse de LAFFORGUE (1977) sur des sols de basse Côte d'Ivoire démontre que  $D_m$  décroît avec l'inclinaison de la pente et croît avec l'allongement de la parcelle.

La rugosité  $n$  est également un paramètre calculé à partir de  $A$  en connaissant la pente et la longueur de la parcelle.

La vitesse du courant de ruissellement peut être mesurée et calculée.

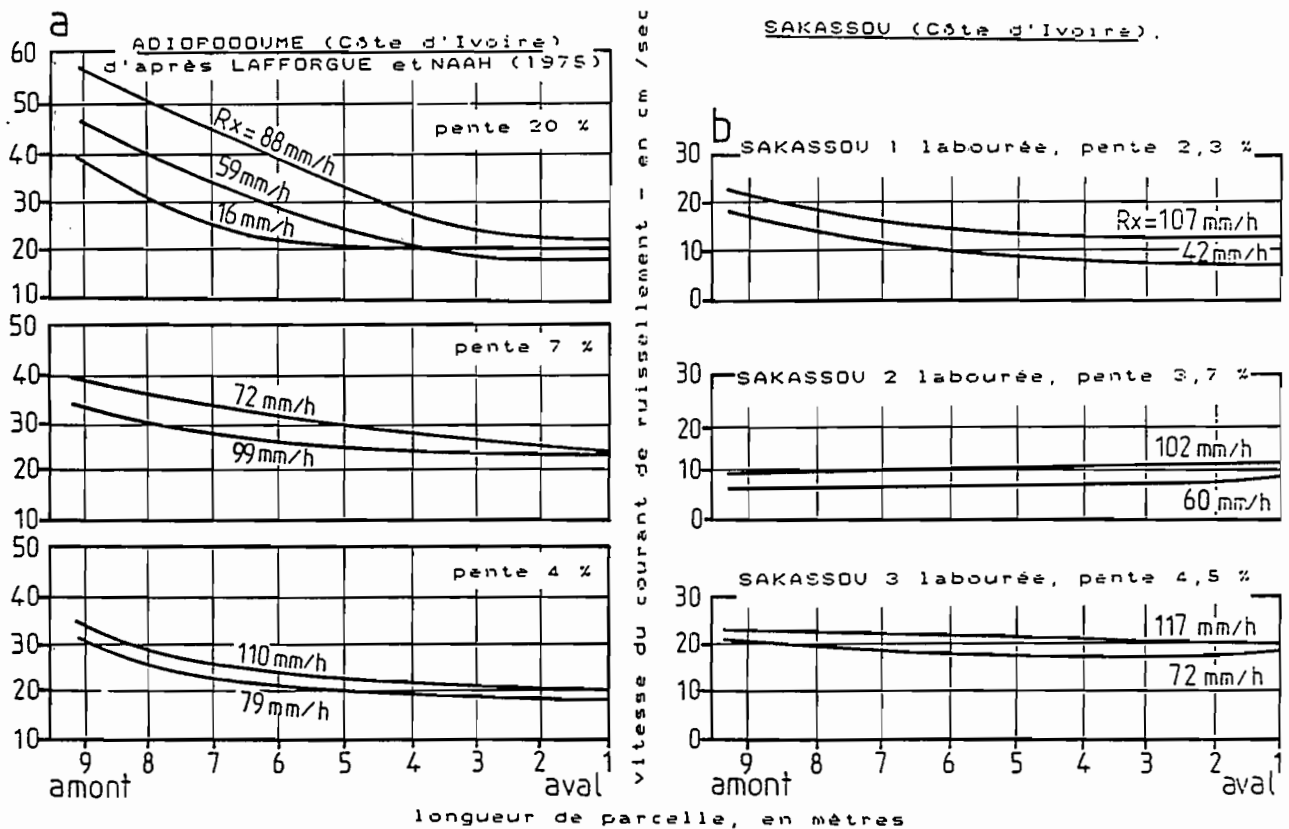


Fig. V.8.: Mesure de la vitesse du courant de ruissellement sur parcelles expérimentales.



### a) Mesure de la vitesse du courant de ruissellement

Sa mesure directe a été réalisée la première fois sous simulation de pluie à ADIOPODOUME en 1975 sur des sols différenciés à partir des Sables Tertiaires de basse Côte d'Ivoire (LAFFORGUE et NAAH). D'autres mesures ont été effectuées en 1976 lors de la mission de simulation de pluies sur SAKASSOU (ASSELIN, COLLINET, LAFFORGUE). Dans les deux cas, les essais se sont déroulés sur des parcelles de pentes variées recevant des averses de différentes intensités.

Le principe consiste à épandre rapidement en amont de la parcelle du colorant selon une trace transversale d'environ 10 cm de largeur pendant la phase de ruissellement à régime permanent et à chronométrer les temps de passage de l'eau colorée en face de jalons équidistants sur les limites latérales des parcelles.

Les résultats sont représentés sur les figures V.8 a. (ADIOPODOUME) et V.8.b (SAKASSOU). Il est assez surprenant de constater que, sur les deux sites, les vitesses décroissent de l'amont vers l'aval (sauf sur SAKASSOU 2). LAFFORGUE pense que cet effet résulte de la procédure adoptée : le déversement du colorant liquide augmenterait momentanément les vitesses du courant à l'amont en apportant une surcharge de hauteur équivalente à celle de la hauteur Dm. A cet argument, on peut surtout ajouter que la mesure ne permet pas de maîtriser la longueur réelle de parcours de l'eau colorée du fait de la sinuosité des drains empruntés, effet se cumulant vers l'aval avec la distance parcourue.

Quoi qu'il en soit, on constate que dans la partie médiane, les vitesses s'échelonnent entre 7 et 30 cm/s, qu'elles augmentent avec la pente mais **pas forcément avec le débit du ruissellement** déterminé ici par Rx en mm/h. Cette absence de relation systématique se comprend si l'on considère que les parcelles sont rarement rigoureusement planes, la canalisation dans des drains amène une augmentation de la vitesse liée à la diminution des sections mouillées selon la relation :

$$Q = \frac{v}{s} \quad \begin{array}{l} \text{avec } v = \text{vitesse du courant de ruissellement} \\ s = \text{section mouillée du drain} \\ Q = \text{débit} \end{array}$$

...en effet, si l'on a :

$s_1$  = sections mouillées cumulées des drains en amont du canal de ruissellement auxquelles correspond une vitesse de courant  $v_1$ ,

$s_2$  = section mouillée de la largeur totale de la parcelle (canal de ruissellement) à laquelle correspond une vitesse de courant  $v_2$ ,

et  $Q = Rx$  = débit du ruissellement mesuré en aval du canal de ruissellement,

...on a aussi de fortes chances d'avoir  $v_1 > v_2$  puisque, pour un débit constant de Rx, les vitesses augmenteront sur les sections les plus faibles ;  $s_1$  ne pouvant être égale à  $s_2$  que sur les parcelles où le coefficient  $\omega$  est voisin de 1,0, dans tous les autres cas  $s_1$  sera supérieur à  $s_2$  ; c'est d'ailleurs une des causes expliquant le passage d'une érosion en nappe à une érosion concentrée.

Les mesures directes risquent donc de minorer les vitesses instantanées réelles du courant de ruissellement ; il en va de même en ce qui

concerne les vitesses calculées à partir de Rx dont l'effet intégrateur estompe des variations locales importantes au niveau de la détachabilité et qu'il n'est possible de détecter qu'indirectement en connaissant le modelé de la parcelle.

#### b) Calcul de la vitesse du courant de ruissellement

La formule de MANNING relative aux écoulements dans les canaux découverts a été utilisée après avoir été adaptée aux écoulements sur parcelles expérimentales larges :

$$v = \frac{r^{2/3} \times i^{1/2}}{n} \quad (\text{vitesse du courant en cm/s}),$$

r = rayon hydraulique de la section mouillée pouvant être assimilée à Dm (en cm) en raison de sa petitesse en regard des 500 cm de largeur de la parcelle,

i = pente topographique de la parcelle (%),

n = coefficient de rugosité

La vitesse a été calculée sur 65 des 88 parcelles pour lesquelles on disposait des données les plus fiables : OURSI (22 parcelles), GALMI (9), POUNI (5), SAINT PAUL (4), BATANGA (2), LOUMBILA (2), SAKASSOU (14) et TAY (7). Les vitesses sont reportées sur le tableau LXX (en annexe). Elles y sont présentées avec leurs limites minimales et maximales puisqu'elles sont calculées pour chaque averse et l'on peut résumer leurs distributions par types de situations expérimentales :

=====

**Tableau LXXI**  
Vitesses du courant de ruissellement (résumé du tableau LXX)

SITUATIONS	VITESSES			
	mini.	maxi.	méd.min.	méd.max.
	1	2	3	4
état naturel	1	51	5	17
labour	4	48	10	17
billons isohypses	3	18	-	-
billons longitud.anc.	4	11	-	-
billons longitud.nvx.	18	22	-	-
savane en sais.pluies	3	14	4	12
riziére pluviale	1	16	-	-

#### Légende

colonnes 1 et 2 = vitesses minimales et maximales absolues des courants de ruissellement pour la totalité des averses,

colonnes 3 et 4 = valeurs médianes des vitesses minimales et maximales.

=====

La longueur de la parcelle est constante (10 m) ; il est par contre malaisé d'isoler les effets de la pente topographique (cf. tableau LXX) parce que celle-ci varie dans des limites étroites et qu'à ces variations correspon-

dent des sols différents. On peut néanmoins comparer les parcelles naturelles de POUNI 1 et POUNI 2 respectivement de 7,5 et 0,9 % de pente, toutes deux argileuses et gravillonnaires en surface, l'augmentation de pente s'y traduit par une sensible augmentation de la vitesse qui passe de 5 à 13 cm/s.

Le coefficient de rugosité  $n$  varie dans de larges limites : 0,001 sur SAKASSOU 4 labourée à 0,507 sur TAÏ 1 sous rizière pluviale. Il est affecté par deux sortes d'aspérités : les épandages d'éléments grossiers et les couverts végétaux vivants et érigés ou morts ; celui-ci atteint ses valeurs maximales lorsque ces deux catégories d'éléments combinent leurs effets ; des exemples d'évolution de ce coefficient sont présentés dans le tableau LXXII :

=====

**Tableau LXXII**  
Coefficient de rugosité lié aux aspérités du sol

SITES	E.G.	VGT.	n
1	2	3	4
OURSI 1 nat.	0	65	0,099
- lab.	0	0	0,016
SAKASSOU 2 nat.	7,5	15	0,019
- lab.	15	0	0,017
- savane	7,5	100	0,110
TAÏ 1 défriche	55	20	0,348
- lab.	59	0	0,017
- riz pluv.	55	100	0,507
TAÏ 3 défriche	0	20	0,204
- lab.	0	0	0,067
- riz pluv.	0	100	0,092

#### Légende

colonne 1 : nat. = parcelle dénudée de saison sèche, lab. = labour à plat de référence,  
savane = couvert herbacé dense de saison des pluies,  
défriche = terrain préparé pour les semis de riz pluvial en zone guinéenne forestière,  
riz = couvert dense de riz pluvial  
colonne 2 : E.G. = charge en éléments grossiers (%),  
colonne 3 : VGT = taux de recouvrement par des végétaux (%).

=====

Sur TAÏ 1, la **conjonction gravillons + couvert végétal** renforce considérablement la rugosité (0,507), la suppression des gravillons sur TAÏ 3 la diminue fortement, ceci montre qu'un couvert de type herbacé, fût-il dense, n'introduit qu'une rugosité assez modeste ; on constate que c'est aussi le cas des savanes hautes de SAKASSOU presque aussi efficaces d'ailleurs pour ralentir la vitesse des écoulements que les débris végétaux d'un sol de la zone sahélienne en saison sèche (OURSI). Le labour amène une augmentation de la

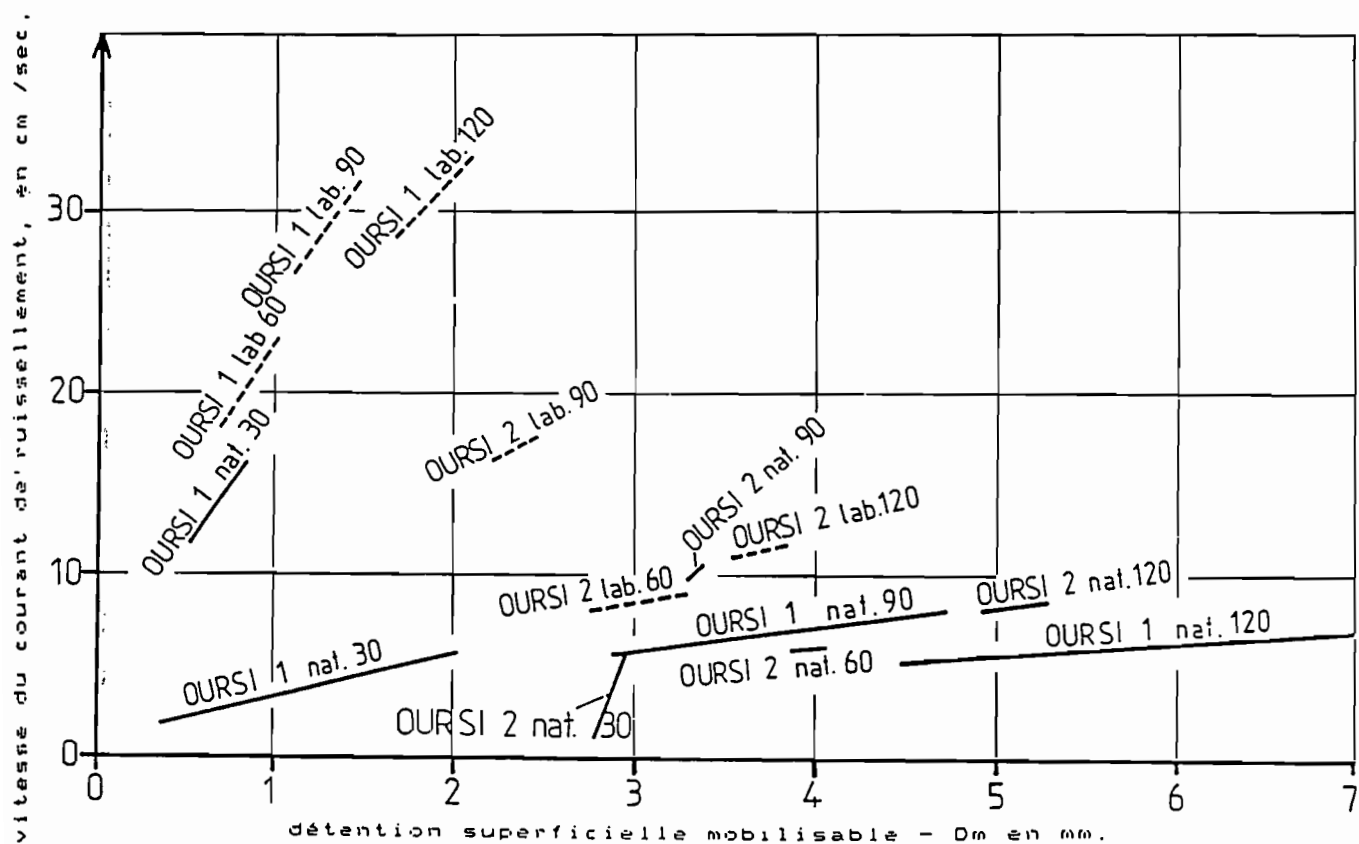


Fig. V.9.: Relation liant la vitesse du courant de ruissellement à sa charge hydraulique (OURSI).

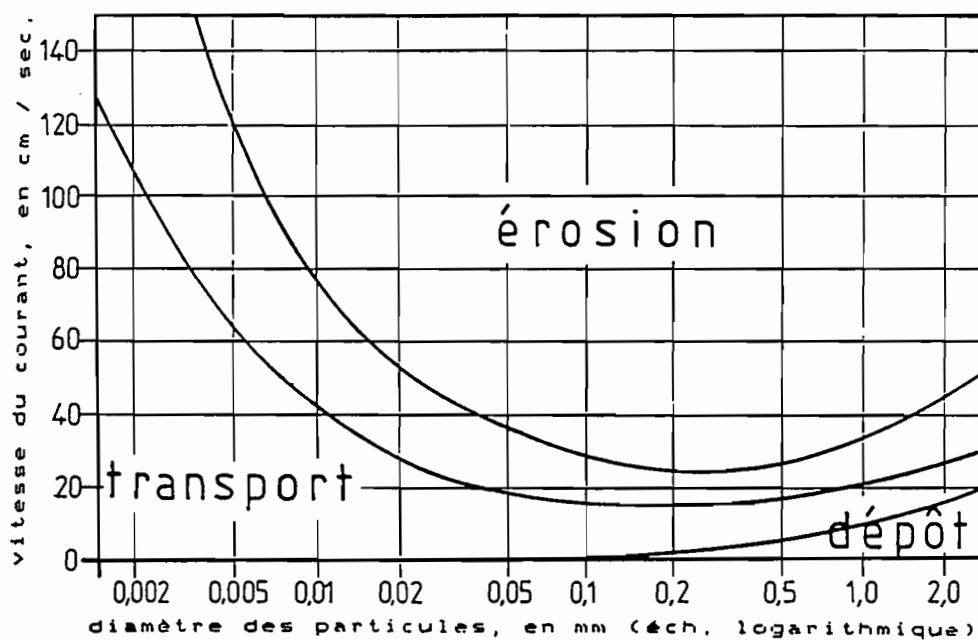


Fig. V.10.: Diagramme de HJULSTRØM, abrasion, transport et dépôt des particules solides et pseudo-solubles (érosion hydrique, flux laminaire).

vitesse du courant par un lissage important des parcelles, la diminution de  $n$  est liée à l'instabilité structurale des sols et, généralement, les rugosités restent, toutes proportions étant gardées, plus importantes sur les sols labourés des zones humides que sur les sols des zones sèches.

La vitesse du courant de ruissellement augmente aussi sensiblement avec la **charge hydraulique** de la parcelle donc avec  $D_m$ , cet effet peut être correctement isolé sur les différentes parcelles d'OURSI puisque, sur ces sites, le paramètre  $i^{1/2} / n$  (colonne 5 du tableau LXX) reste constant sur chaque parcelle soumise à des intensités d'averses différentes (cf. figure V.9.).

### *XIII.3.1.2. La capacité érosive du courant de ruissellement : un compromis entre sa charge et sa vitesse*

Le rôle d'un écoulement de régime laminaire sur la détachabilité du sol et le transport des sédiments en résultant, a été mis en évidence pour la première fois par HJULSTRØM en 1935. La cohésion inhérente aux sols et aux sédiments impose de distinguer l'énergie nécessaire au **transport** d'une charge, composée d'éléments classés dans un gabarit donné, de l'énergie nécessaire à la **mobilisation** du même sédiment obtenue par abrasion hydrique (cette dernière étant généralement plus importante que la première). Sur la figure V.10. reproduisant le diagramme de HJULSTRØM, l'exemple d'une particule de 0,01 mm de diamètre peut illustrer cette règle : son ablation à partir d'un matériau cohérent nécessite un flux de 60 cm/s mais son dépôt après transport ne se produit que lorsque  $v$  descend sous 0,1 cm/s. Vers les plus gros diamètres les différences de vitesses requises deviennent plus étroites et les dépôts interviennent alors sous des vitesses de plus en plus élevées. A l'inverse, les granulométries les plus fines (de l'argile aux limons grossiers) résistent fortement à la détachabilité et resteront en suspension ou en pseudo-solution plus longtemps.

L'utilisation de cet abaque suscite deux remarques :

**1ère remarque :** lorsque l'on a affaire à un **matériau composite**, comme c'est généralement le cas des sols, MORGAN (1980) attire l'attention sur le fait que les particules fines sont protégées par les particules les plus grosses et qu'il est, de ce fait, nécessaire d'atteindre la vitesse d'ablation des grosses particules avant de pouvoir obtenir la mobilisation des plus fines (ce qui explique que l'abaque délimitant érosion et transport soit représenté par une surface et non par un trait).

**2ème remarque :** la partition entre ablation, transport et dépôt se complique encore lorsque l'on **passse d'un flux laminaire à un flux turbulent**, circonstance réalisée, par exemple, lors de la conjonction **précipitation + ruissellement** et que la lame d'eau ruisselante est trop peu épaisse pour intercepter totalement l'énergie de l'averse au niveau du sol (cf. SAINT PAUL 2, chapitre XIII.2.4.) ; le détachement et le transport peuvent alors intervenir avant que la vitesse critique spécifique d'un élément d'un diamètre donné ne soit atteinte.

En **faisant abstraction des deux remarques précédentes**, donc en restant dans le domaine d'un **flux laminaire** sur une surface homogène, on constate qu'une détachabilité peut commencer à se produire pour des particules

de 0,1 mm de diamètre avec des courants de ruissellement de 17 cm/s environ. Si l'on se réfère aux domaines de variations des vitesses calculées dans le tableau LXX, on se rend compte qu'un bon nombre d'averses tombant sur environ 50 % des parcelles est à l'origine de courants de ruissellement pouvant directement générer une érosion. Dans approximativement 10 % des cas, cette érosion peut même se produire d'emblée sur la totalité des averses, c'est le cas des parcelles :

- GALMI 1 billonnée selon la plus grande pente,
- GALMI 2 labourée en saison sèche,
- SAINT PAUL 2 dénudée et non remaniée en saison sèche,
- SAKASSOU 4 labourée en saison sèche,
- TAÏ 1 labourée en saison sèche.

Il s'agit donc principalement de sols remaniés par le labour, de textures variées, et de sols sableux, non remaniés.

Le tableau LXXIII présente quelques exemples de médianes granulométriques ( $\phi_{50}$ ) de sédiments collectés en aval de différentes parcelles ainsi que les valeurs critiques minimales du courant de ruissellement ayant permis leur ablation. Ces vitesses, lues sur le diagramme de HJULSTRØM, ne pouvant être que supérieures à 18 cm/s pour des diamètres d'éléments supérieurs ou inférieurs à 0,220 mm.

Tableau LXXIII  
Exemples de médianes granulométriques de sédiments  
et vitesses d'ablation correspondantes

SITUATIONS	AVERSES	$\phi_{50}$ v1	v1	v2	$\phi$ v2
1	2	3	4	5	6
GALMI 1 nat.	60,6 (1)	$\leq 0,030$	$\geq 32$	10	0
	29,8 (14)	$\leq 0,220$	$\geq 19$	6	0
GALMI 1 lab.	60,6 (1)	$\leq 0,040$	$\geq 29$	19	0,150 à 0,310
	60,6 (13)	$\leq 0,180$	$\geq 18$	12	0
KORHOGO 1 nat.	61,9 (1)	$\leq 0,120$	$\geq 20$	-	-
	90,9 (8)	$\leq 0,150$	$\geq 19$	-	-
KORHOGO 1 lab.	61,9 (1)	$\leq 0,200$	$\geq 18$	-	-
	121,9 (7)	$\leq 0,280$	$\geq 18$	-	-
SAKASSOU 1 nat.	61,3 (1)	$\leq 0,015$	$\geq 19$	-	-
	93,2 (9)	$\leq 0,050$	$\geq 26$	-	-
SAKASSOU 1 lab.	91,1 (7)	$\leq 0,300$	$\geq 18$	36	0,020 à 2,000
	93,2 (9)	$\leq 0,210$	$\geq 18$	21	0,100 à 0,500
TAÏ 1 défr.	# 30	$\leq 0,015$	$\geq 19$	3	0
	# 60	$\leq 0,015$	$\geq 19$	-	-
	# 90	$\leq 0,010$	$\geq 57$	8	0
	# 120	$\leq 0,015$	$\geq 19$	-	-
TAÏ 1 lab.	# 30	$\leq 0,090$	$\geq 21$	16	0
	# 60	$\leq 0,110$	$\geq 20$	-	-
	# 90	$\leq 0,040$	$\geq 29$	48	0,020 à 4,000
	# 120	$\leq 0,070$	$\geq 23$	-	-

### Légende

colonne 1 : sites et situations (nat. = état naturelle ; lab. = labour de référence ; défr. = défriche forestière traditionnelle,  
colonne 2 : intensités (mm/h) et numéro de l'averse, les échantillons étant regroupés par intensités sur TAï,  
colonne 3 :  $\phi_{50}$  v1 = médiane granulométrique des sédiments collectés,  
colonne 4 : v1 = vitesse d'ablation lue sur le diagramme de HJULSTRØM correspondant à la médiane granulométrique des sédiments collectés,  
colonne 5 : v2 = vitesse d'ablation calculée, correspondant aux averses considérées,  
colonne 6 :  $\phi$  v2 = limite granulométrique des sédiments dont l'ablation correspond à cette vitesse calculée v2, 0 → ablation impossible selon cette vitesse v2.

=====

La comparaison des vitesses lues (v1) et des vitesses calculées (v2) montre que ces dernières sont parfois inférieures à celles qui sont déduites des granulométries des sédiments, cette différence peut signifier deux choses :

- une accélération de la vitesse **non détectable par le calcul** effectué à partir d'un débit mesuré au niveau du canal, ceci confirme que les hétérogénéités topographiques de la parcelle impliquent des augmentations des vitesses du courant au niveau de chenaux rétrécis,

- la possibilité d'**entraînement de micro-agrégats de  $\phi \leq 0,220$  mm** nécessitant des vitesses d'ablation et d'entraînement plus faibles que celles de leurs éléments constitutifs. En effet, la préparation des échantillons pour l'extraction de la fraction argile + limon fin et le tamisage des sables détruisent les micro-agrégats restés intacts dans la lame ruisselante; il est d'ailleurs symptomatique de constater que cette différence est caractéristique de sols riches en sesquioxydes de fer, sujets à une micro-agrégation (GALMI et TAï p. ex.).

Les médianes granulométriques sont extraites des courbes de pourcentages granulométriques cumulés ; les problèmes de tri des sédiments et d'érosion sélective des sols seront abordés dans le chapitre XIV.1.4. de cette cinquième partie.

Si l'on tient compte **maintenant de la possibilité d'écoulement turbulent**, il faut admettre que les vitesses critiques d'ablation sont sujettes à des fluctuations qui sont :

- négatives lorsque l'on passe d'un écoulement laminaire à un écoulement turbulent,

- positives lorsque la capacité érosive de l'eau pure se trouve modifiée par une charge en éléments érodés.

On considérera ultérieurement les modifications induites par une éventuelle turbulence des écoulements pour ne retenir ici que l'effet de la **charge du courant de ruissellement**.

FOSTER et MEYER (1972) résument les interactions entre la compétence et la capacité érosive d'un écoulement sous la forme de l'équation de continuité de charge suivante :

$$\frac{\text{détachabilité d'un écoulement}}{\text{capacité de détachabilité}} + \frac{\text{charge de l'écoulement}}{\text{capacité de transport}} = 1$$

et l'illustrent à l'aide d'un schéma reproduit sur la figure V.11. Dans le cas théorique d'un écoulement de régime constant dans un canal de longueur infinie, un flux provenant d'une section non érodable, donc d'eau pure, et parvenant dans une section érodable, y détachera des éléments jusqu'à une quantité maximale compatible avec l'énergie du flux. La détachabilité ira ensuite en diminuant vers l'aval au fur et à mesure que la charge en particules détachées augmentera. Si le canal est suffisamment long, aucune érosion ne pourra plus se produire dans le secteur suivant où le flux aura perdu toute sa capacité érosive mais aura acquis sa capacité de transport maximale : "By this concept, flow with a large sediment load will be less erosive than flow with little or no sediment load. This implies that flow with a large sediment load may have a higher velocity and still not degrade its channel any more than a slower with little sediment.."

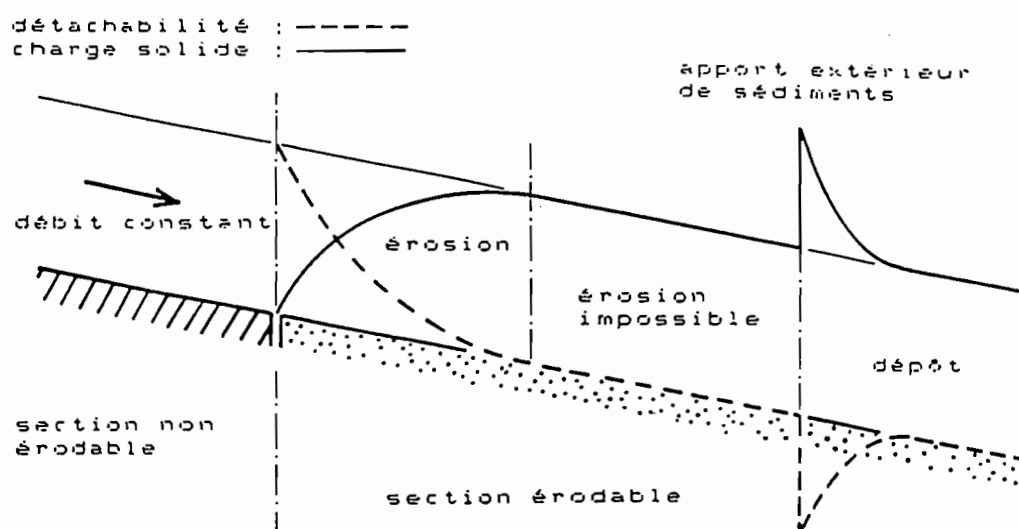


Fig. V.11.: Interactions entre l'abrasion d'un sol, le transport et le dépôt de la charge solide résultante d'après FOSTER et MEYER (1972).

Lorsque l'on se replace dans la situation d'une parcelle expérimentale de 10 m de longueur et recevant des averses simulées, il est évidemment plus difficile d'isoler cet effet charge, on peut néanmoins approcher correctement cette analyse en se mettant dans les conditions suivantes :

- sélection de parcelles où la vitesse du courant approche ou dépasse la vitesse d'ablation telle qu'elle est calculée à partir de  $D_m$ , donc de  $R_x$ ,



- sélection de parcelles où l'on constate une charge constante tout au long des averses, quels que soient les débits du ruissellement, ce qui signifie :

- qu'il n'y a pas d'effet de dilution donc qu'il se produit une alimentation continue du courant de ruissellement par les éléments détachés du sol,

- mais aussi que pour chaque débit correspond une charge maximale limitant la capacité érosive du courant.

L'effet de la charge est démontré sur différents exemples de parcelles de la figure V.13. (chapitre XIII.3.2.1.) réunissant les conditions précédentes en utilisant la relation :

$$C_x = f(R_x)$$

où  $C_x$  = palier de la turbidité observé pendant la phase du régime permanent du ruissellement (g/l),  
 $R_x$  = intensité du ruissellement pendant cette phase (mm/h).

#### *XIII.3.1.3. La turbulence du courant de ruissellement, ses conséquences sur la détachabilité et le transport*

Les vitesses critiques d'ablation du diagramme de HJULSTRØM sont données pour des écoulements laminaires où les différences de vitesses entre les couches de fluides sont suffisamment faibles pour qu'elles puissent se déplacer sans frottements importants les unes par rapport aux autres. Dans le cas du ruissellement, cette hydrodynamique est perturbée pour deux raisons :

- **manifestation d'une turbulence de fond** : la rugosité de la surface du sol issue des différents types d'aspérité (éléments grossiers, végétation) devient telle qu'elle provoque un ralentissement des couches fluides s'écoulant en son contact, des différences de vitesse importantes se manifestent entre le sommet et la base de la lame ruisselante, les écoulements se désorientent, deviennent turbulents avec des ralentissements et des accélérations locales de vitesse ce qui augmente la détachabilité.

- **manifestation d'une turbulence de surface** : c'est la conséquence de l'agitation des couches de fluide superficielles par l'impact des gouttes de pluie (EMMET, 1970 ; MORGAN, 1980), la transmission de cet effet dépend alors de l'énergie de la pluie et de l'épaisseur de la lame d'eau ruisselante.

La turbulence de fond peut être évaluée par l'indice de REYNOLD (1975) qui, utilisé pour les écoulements dans les canaux découverts, prend en compte la vitesse, le rayon hydraulique de la section mouillée et la viscosité du liquide ; cet indice "Re" utilisé sur des modèles de laboratoire par DE PLOEY, SAVAT, MOEYERSON (1976) est de la forme :

$$Re = \frac{v \cdot r}{\delta}$$

avec:  $v$  = vitesse du courant en cm/s,  
 $r$  = rayon hydraulique du canal en cm,  
 $\delta$  = viscosité du fluide en cm<sup>2</sup>/s

Pour des ruissellements sur parcelles larges,  $r$  peut être assimilé à  $D_m$ , la viscosité de l'eau pure à 20°C. est voisine de  $10^{-2}$  cm<sup>2</sup>/s. Pour ce qui concerne les parcelles d'érosion, c'est évidemment le point faible de cette formule car il conviendrait de corriger la viscosité en fonction de la charge transportée et de la caractéristique granulométrique de cette charge qui se modifient toutes deux en cours de ruissellement ; ceci n'est seulement envisageable que pour des modèles de laboratoire.

Selon D'SOUZA et MORGAN (1976), le passage d'un écoulement laminaire à un écoulement turbulent se situe vers des valeurs de  $Re$  voisines de 500, mais ces auteurs signalent que les effets de la turbulence sur la détachabilité ne se font vraiment ressentir que pour des indices  $Re > 1000$ . Cette modification de la nature du régime des écoulements diminue la vitesse critique de détachabilité et augmente l'érosion due au courant. Mais le phénomène est sensiblement plus complexe car, si l'on sépare les deux origines de la turbulence, on constate que la turbulence de surface n'est efficace que pour des lames  $D_m$  suffisamment faibles tandis que celle de fond croît proportionnellement avec  $D_m$ . Il faut donc retenir que, pour une vitesse de courant donnée, l'accroissement de  $D_m$  aura deux effets inverses :

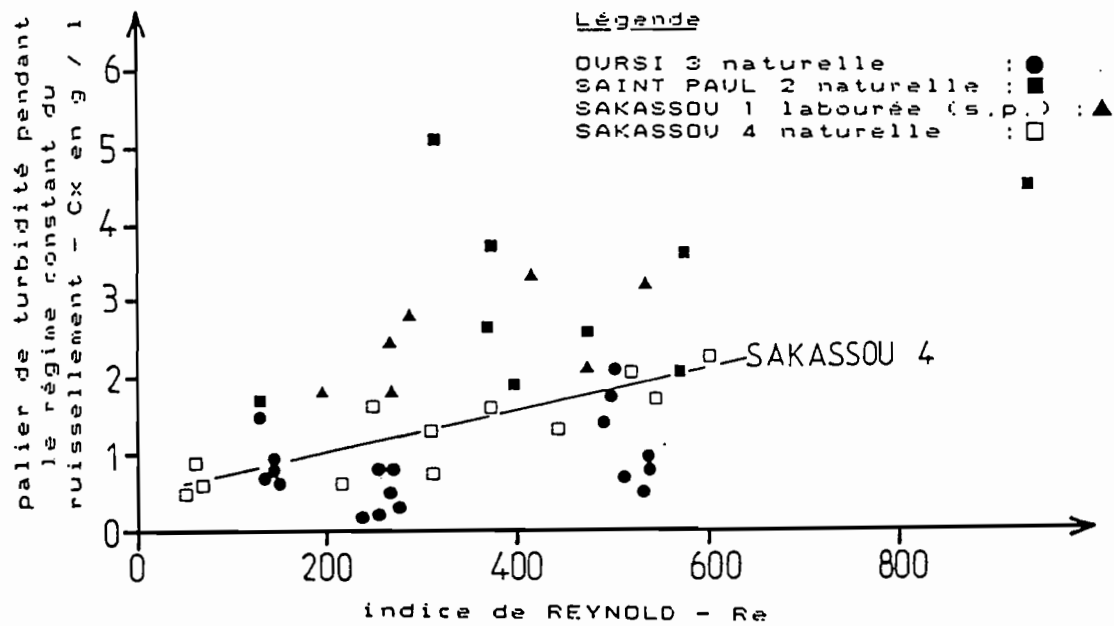
- **augmentation** de la détachabilité par turbulence de fond si celle-ci dépasse un seuil critique,

- **atténuation** de la détachabilité résultant d'une turbulence superficielle.

Il existe donc une hauteur critique de  $D_m$  pour laquelle les deux causes cumulées de turbulence présentent un effet maximum sur la détachabilité.

Les indices  $Re$  sont présentés sur le tableau LXX (en annexe), on s'aperçoit que **peu de sols et de situations expérimentales réunissent les conditions nécessaires à un écoulement de fond turbulent**. Les valeurs de  $Re$  voisines de 500 ne sont atteintes et légèrement dépassées que sur 30 % des parcelles si l'on excepte POUNI 2 où la turbulence résulte d'une forte charge gravillonnaire mais reste sans grands effets sur la détachabilité du fait de la faible teneur en éléments exportables car ce sol est extrêmement appauvri.

L'expression  $C_x = f(Re)$  ne montre pas de relation entre ces deux variables sauf sur SAKASSOU 4, objet d'une forte érosion concentrée (figure V.12.), ceci **démontre le maintien d'un régime laminaire sur la majorité des parcelles** mais ne permet pas de préjuger de l'absence d'une turbulence de surface peu détectable par notre procédure expérimentale.



**Fig. V.12.:** Effet de la turbulence du flux sur l'abrasion liée au courant de ruissellement (turbidité  $Cx$ )

Fig. V.13a.: -1- forte érosion en nappe

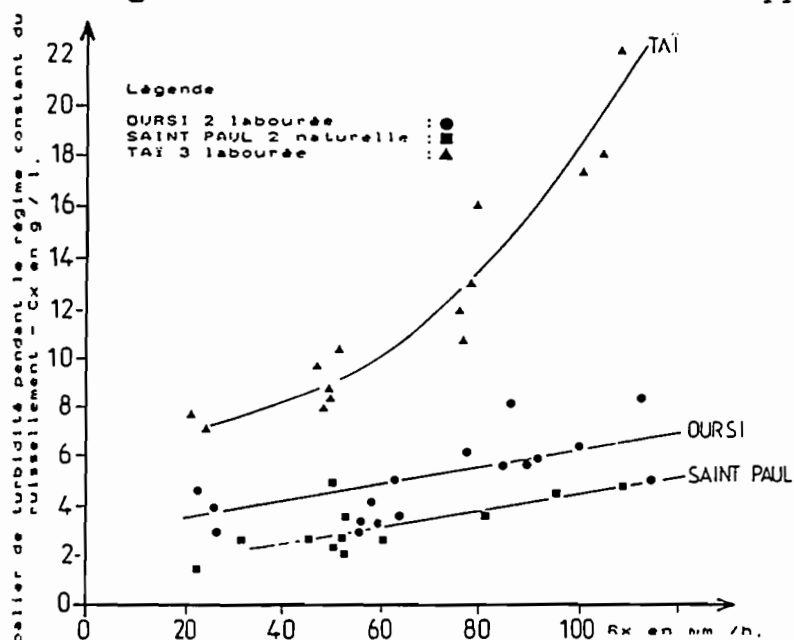


Fig. V.13b.: -2- faible érosion en nappe

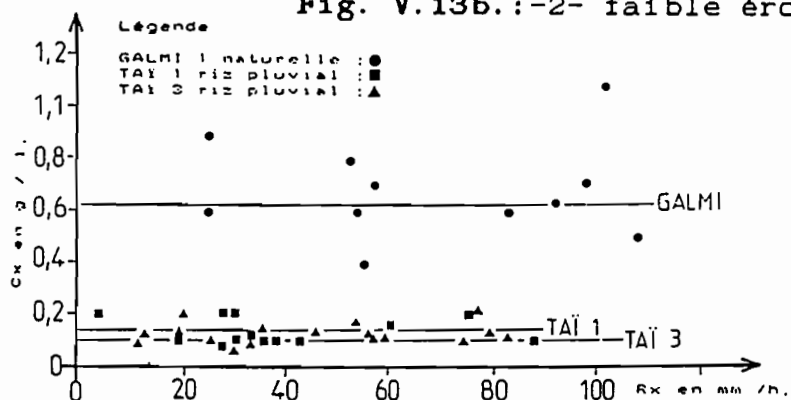


Fig. V.13c.: -3- épuisement des éléments détachés par le splash

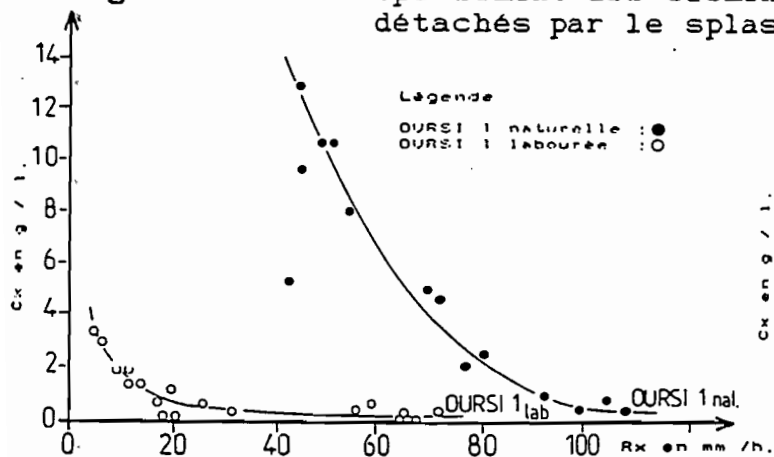
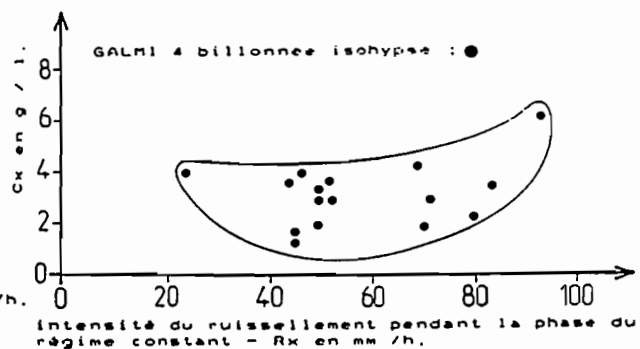


Fig. V.13d.: -4- indétermination

Fig. V.13.: Détermination de l'abrasion liée au courant de ruissellement par la relation  $Cx = f(Rx)$ .

### *XIII.3.2. Les effets de l'abrasion due au courant de ruissellement : érosion en nappe et érosion concentrée*

La détachabilité liée au courant de ruissellement peut s'exercer de façon homogène dans l'espace et continue dans le temps sur l'ensemble de la parcelle lorsqu'elle opère par abrasion de microhorizons superficiels, il s'agit alors de **l'érosion en nappe** (sheet érosion).

Elle peut aussi s'exercer de façon homogène dans l'espace mais discontinue dans le temps, ce qui implique une accélération soudaine mais fugace de la détachabilité

Cette abrasion peut enfin s'exercer préférentiellement dans les chenaux empruntés par le courant de ruissellement, elle devient alors hétérogène dans l'espace mais continue dans le temps.

Il s'agit dans les deux derniers cas d'une **érosion concentrée** dont une érosion en rigole (rill erosion) pour ce qui concerne le dernier processus.

L'un ou l'autre de ces modes d'érosion s'est manifesté sur les parcelles des 24 sites expérimentaux, ils sont déjà détectables par l'aspect que prennent les turbidigrammes enregistrant l'évolution des charges tout au long des averses (chapitre VIII), ce diagnostic des modes d'érosion nécessite maintenant des explications plus formelles.

#### *XIII.3.2.1. L'érosion en nappe*

L'identification de l'érosion en nappe peut être étayée par l'analyse des relations liant le palier des turbidités  $C_x$ , soit à l'intensité du ruissellement à régime constant  $R_x$ , soit à la vitesse du courant de ruissellement  $v$ .

Sur l'ensemble des parcelles on repère quatre types d'évolution schématisés et illustrés par les exemples des figures V.13.a, b, c et d.

**1er type** : figure V.13.a. avec OURSI 2 labourée, SAINT PAUL 2 naturelle, TAÏ 3 labourée.

$C_x$  augmente à la fois avec  $R_x$  et avec  $v$ , ce qui signifie une alimentation du courant de ruissellement par une charge ne perturbant pas la capacité érosive potentielle du courant de ruissellement ; la détachabilité croissante est due à une érosion en nappe où tous les éléments sont exportés de la parcelle.

**2ème type** : figure V.13.b. avec GALMI 1 naturelle, TAÏ 1 sous rizière, TAÏ 3 sous rizière.

$C_x$  reste constant quelle que soit l'intensité  $R_x$  ou la vitesse  $v$ , ce qui signifie encore une alimentation continue du courant de ruissellement par des éléments détachés du sol, mais la vitesse du courant est limitée à cause d'une pente faible (1,0% sur GALMI 1), ou à cause de la rugosité introduite par la couvert de riz pluvial (TAÏ 3 riz pluvial), par le riz pluvial + les gravillons (TAÏ 1 riz pluvial). La capacité érosive réelle peut aussi devenir

inférieure à la capacité érosive potentielle à cause d'une dissipation d'énergie par transport de charge et la détachabilité liée à l'érosion en nappe n'est constante qu'en raison des réajustements **abrasion-transport** avec les augmentations de Rx.

**3ème type** : figure V.13.c. avec OURSI 1 naturelle, OURSI 1 labourée, KORHOGO 5 naturelle, SAKASSOU 1 naturelle.

Cx diminue tandis que s'accroît Rx, et l'on note le plus souvent une absence de relation avec v, cette diminution de Cx correspond à une dilution croissante du courant de ruissellement dont la capacité érosive est insuffisante malgré sa perte de charge pour détacher les éléments de la surface du sol ; celle-ci acquiert en effet une résistance importante liée le plus souvent à la constitution d'organisations pelliculaires stables. La capacité de transport du courant est, par contre, suffisante pour entraîner les éléments détachés par effet splash dont on note un épuisement lié à l'accroissement de Rx donc à l'accroissement de Dm ce qui a été démontré précédemment ; il n'y a donc pas d'érosion en nappe .

**4ème type** : figure V.13.d. avec GALMI 4 billonnée perpendiculairement à la ligne de plus grande pente.

Les variables Cx et Rx (ou v) sont indépendantes, l'évolution de Cx est déterminée par d'autres causes que l'érosion en nappe.

La distribution des parcelles dans ces trois types de manifestation de l'érosion en nappe (tableau LXXIV en annexe) n'est ni liée à leur domaine pédologique d'origine, ni aux caractéristiques physico chimiques des sols mais aux traitements qu'elles subissent et plus précisément aux rugosités qu'imposent ces traitements. On retrouve dans le **1er type** tous les sols fortement lissés, qu'il s'agisse du résultat de la désagrégation du labour ou de sols présentant déjà cette caractéristique en leur état naturel. Les vitesses des courants y sont alors fortes, les charges solides peuvent être importantes bien que ne provenant que d'une érosion en nappe (TAÏ 3 labourée p. ex.). Le **2ème type** où la capacité érosive diminue du fait de la charge solide correspond aux parcelles rugueuses ; il s'agit des sols présentant soit des recouvrements sableux plus ou moins enherbés, soit des épandages d'éléments grossiers, soit un couvert végétal vivant bien développé. Les vitesses du courant y sont plus faibles ce qui entraîne une diminution de sa capacité érosive et de sa compétence. Le **3ème type** regroupe des parcelles dont l'érosion est la seule, ou presque la seule, conséquence de l'effet splash . Ce regroupement recoupe et confirme les démonstrations visant à attribuer leur érosion à l'énergie des pluies

### *XIII.3.2.2. L'érosion concentrée*

Contrairement à l'érosion en nappe, l'érosion concentrée se caractérise :

- soit par une ablation irrégulière dans le temps mais homogène sur une superficie donnée, on propose alors de la dénommer **érosion concentrée occasionnelle**,

- soit par une ablation régulière dans le temps mais s'exerçant de façon hétérogène sur une superficie donnée, le terme d'**érosion concentrée continue** peut alors être avancé pour la distinguer de la précédente.

L'érosion concentrée est diagnostiquée par l'observation des turbidigrammes d'averses individuelles ; ceux ci, appartenant aux types 3, 4 ou 5, ont déjà été décrits dans le chapitre VIII.1.2. et représentés sur les figures IV.3.4. et 6.

Deux cas peuvent se présenter :

**1er cas :** au début de l'averse, la charge solide évolue comme dans le cas d'une érosion en nappe avec apparition d'un "pic" de turbidité pendant la phase du régime transitoire du ruissellement, "pic" résultant de l'addition des **composantes splash + remobilisation du stock de sédiments** abandonnés pendant la phase de vidange de ruissellement de la pluie précédente, + **abrasion en nappe** qui débute. Comme dans une érosion en nappe, la charge solide peut marquer un palier pendant la phase de régime permanent du ruissellement, cependant, la manifestation de l'érosion concentrée se repère ensuite par une augmentation soudaine et le plus souvent continue de la charge jusqu'à la fin de l'averse (turbidigramme de type 3). Plus rarement, la charge diminue avant la fin du ruissellement jusqu'à atteindre un palier voisin ou rigoureusement identique au premier palier de charge (turbidigramme de type 4).

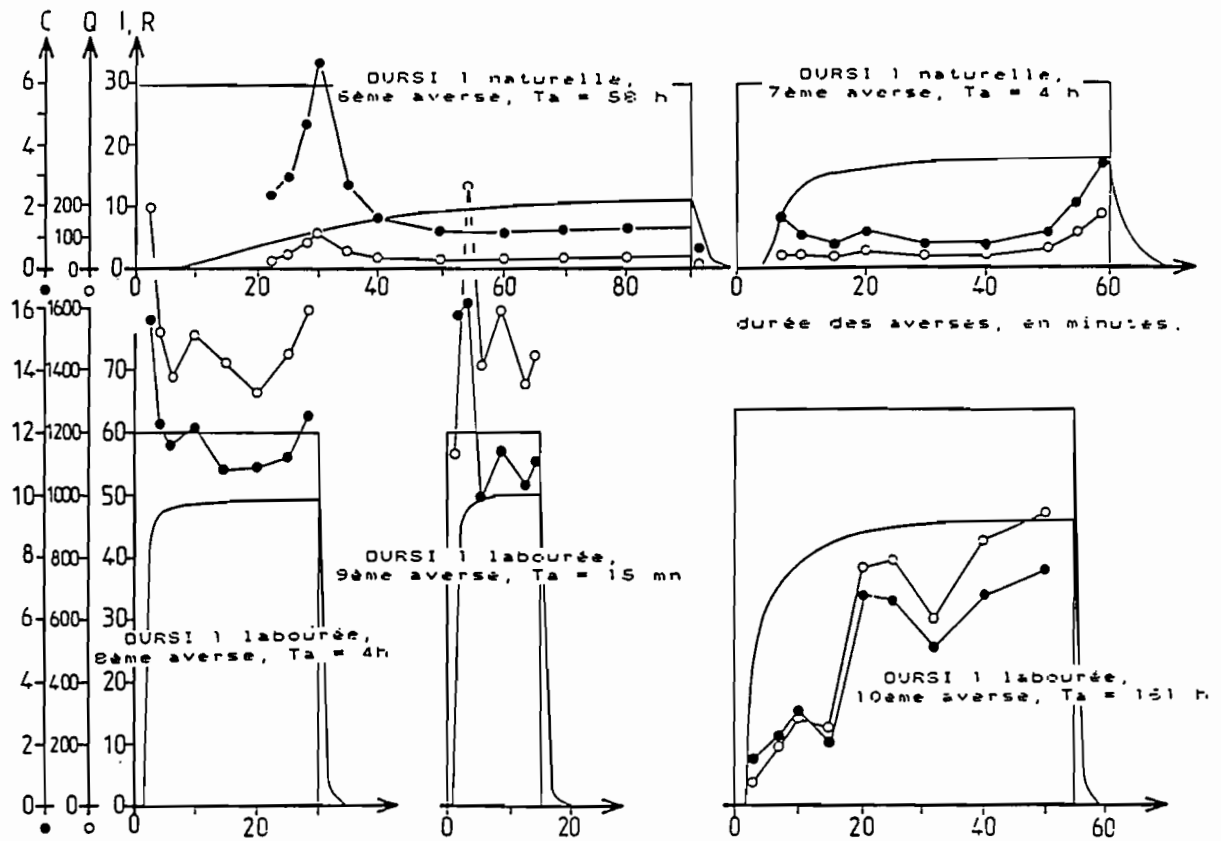
**2ème cas :** on observe une augmentation continue de la charge solide indépendamment des différentes phases caractéristiques de l'instauration du ruissellement, donc dès le début de ce ruissellement (turbidigramme de type 5) ; cette augmentation est suffisamment importante pour masquer les manifestations du splash préliminaire ainsi que celles correspondant à la reprise du stock.

Des **érosions concentrées occasionnelles** se produisent sur à peu près 40 % des parcelles pour lesquelles on repère environ 20 % de turbidigrammes de types 3 intercalés dans une série de turbidigrammes 1, 2 ou 6 caractéristiques de l'érosion en nappe et (ou) du splash. Pour cette situation, on ne repère pas ou peu de canalisation du ruissellement. L'instant de concentration de l'érosion correspond alors :

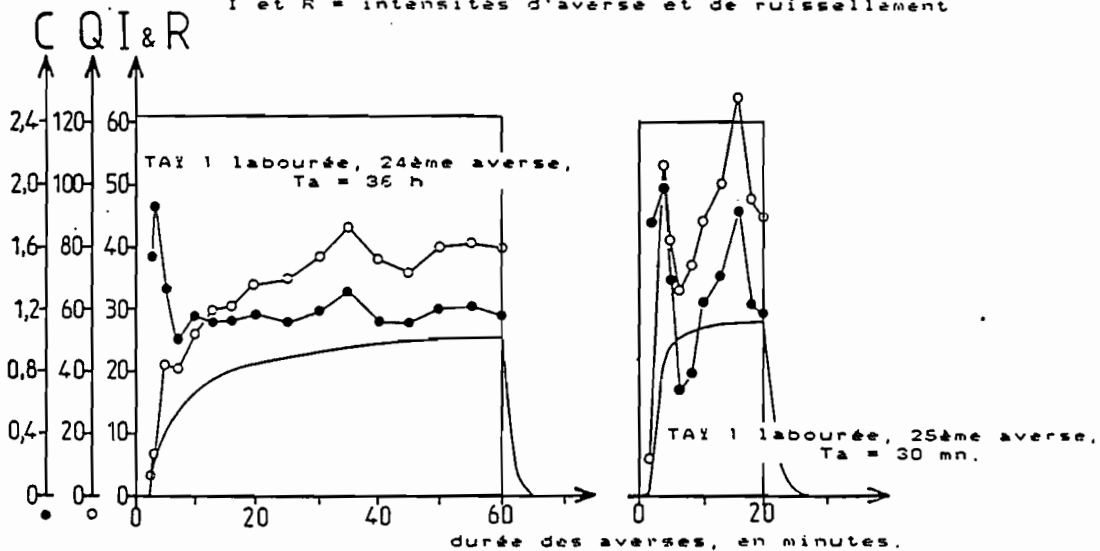
- soit à l'abrasion rapide d'un microhorizon de faible cohésion mis à l'affleurement par la lente abrasion d'un microhorizon plus cohérent sus-jacent par le seul effet de l'abrasion en nappe,
- soit aux effets de turbulences temporaires du courant consécutives au dégagement d'éléments grossiers en épandages peu denses.

Ce "scénario" est illustré par la succession des turbidigrammes des parcelles d'OURSI 1 et TAÏ 1 (figure V.14.).

Des **érosions concentrées continues** se sont produites sur 10 % des parcelles pour lesquelles la quasi-totalité des turbidigrammes est de type 5. Contrairement aux cas précédents (érosion en nappe et érosion concentrée occasionnelle), ce mode est caractéristique des sols labourés sableux à sablo-faiblement argileux (0 à 15 % d'argile), des sols à très faible charge en éléments grossiers, des sols à faible cohésion structurale parmi ceux du



● C = turbidité en g / l.  
 ○ Q = débit solide en g / sec / ha.  
 I et R = intensités d'averse et de ruissellement



**Fig. V.14.:** Détermination de l'érosion concentrée par les types de turbidigrammes, érosions concentrées occasionnelles (OURSI et TAY)



domaine ferrallitique. Ils sont regroupés dans le tableau ci-dessous :

**Tableau LXXIV**  
Caractéristiques des sols fournissant une érosion concentrée continue

SITUATIONS	ARGI	E.G.	I.S.	PENT.
1	2	3	4	5
GALMI 3 bil.lon:	8,0	0,5	1,2	3,2
KORHOGO 5 lab.	6,3	1,3	1,5	2,5
SAKASSOU 1 lab.	10,3	0,1	-	2,3
SAKASSOU 2 lab.	13,4	15,0	-	3,7
SAKASSOU 3 lab.	3,7	0,1	-	4,5
SAKASSOU 4 lab.	15,0	0,1	1,8	3,8

#### Légende

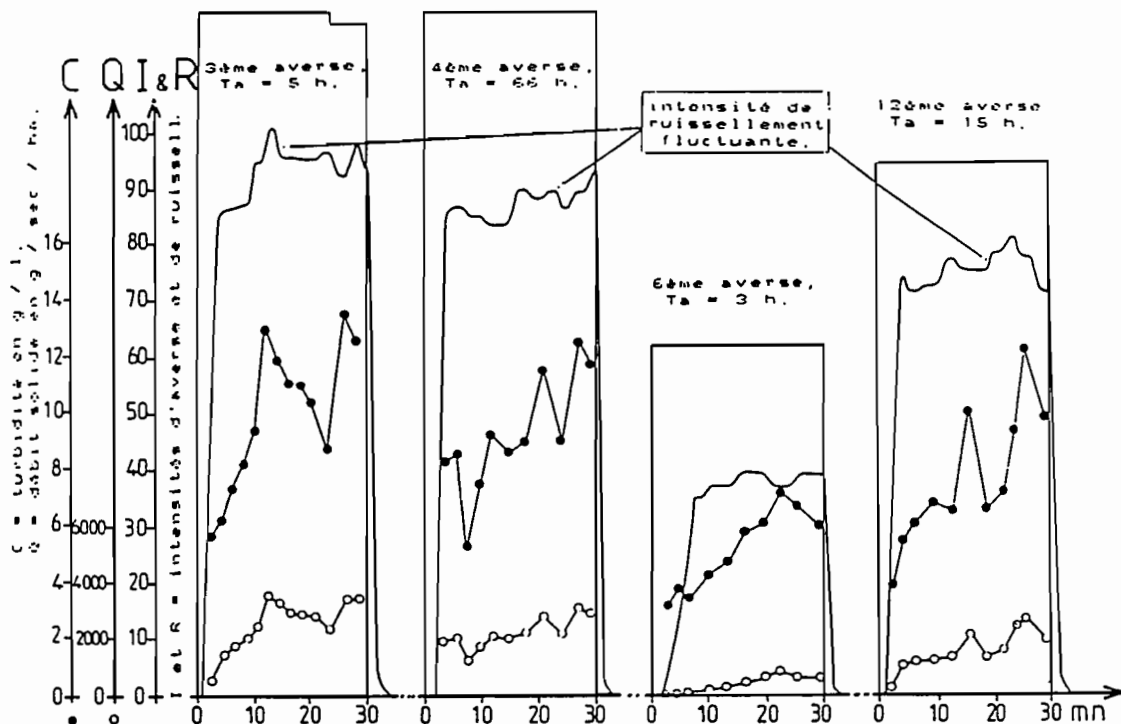
colonne 1 : bil.lon. = billonnage effectué selon la ligne de plus grande pente - lab. = sol labouré à plat.

colonne 2 : ARGI = taux d'argile des 10 premiers centimètres (%),

colonne 3 : E.G. = charge en éléments grossiers des 10 premiers centimètres (%),

colonne 4 : I.S. = test d'instabilité structurale (HENIN et MONNIER) en surface,

colonne 5 : PENT. = pente topographique (%).



**Fig. V.15.:** Détermination de l'érosion concentrée par les types de turbidigrammes, érosion concentrée permanente liée aux variations de la vitesse du courant de ruissellement (SAKASSOU 4 "labourée").

Sur ces 6 parcelles, dont un exemple d'évolution des charges est représenté sur la figure V.15., l'abrasion du courant de ruissellement est localisée dans des chenaux, cette abrasion peut le plus souvent être observée sur la parcelle pendant l'averse ou à son issue par les importants dépôts sableux abandonnés dans ces chenaux méandriformes. Ces parcelles sont caractérisées par des coefficients  $\omega$   $\leq 0,50$  et de fortes charges solides qui atteignent souvent 10 g/l (pour la turbidité moyenne par averse CM1) ce qui correspond à des charges parfois  $\geq 20$  g/l en fin d'averse (charge Ctu).

Comme leurs débits de ruissellement ne diffèrent guère de ceux de parcelles s'érodant en nappe, il faut considérer que la hiérarchisation du ruissellement, la concentration de l'érosion et l'importance de la capacité érosive sont la conséquence d'une rupture d'équilibre correspondant au franchissement de **seuils de pentes topographiques sur des sols sableux**. La canalisation du ruissellement amène de multiples accélérations locales du courant dans des chenaux de sections plus ou moins étroites.

Cette explication est étayée par l'observation simultanée des hydrogrammes et des turbidigrammes correspondants sur les parcelles de SAKASSOU. Comme cela a déjà été signalé dans le chapitre VIII.2., le dépouillement précis des limnigrammes montre que les microvariations de Rx ne sont pas dues à des incidents techniques d'enregistrement mais correspondent à de réelles variations de débits sur les parcelles pendant la phase du régime permanent du ruissellement. Ces variations, assez sensibles (généralement  $Rx \pm 5$  à 10 mm/h), correspondent aux alternances de retenues et décharges d'eaux turbides donc à des **modifications incessantes des sections des drains se répercutant sur les vitesses du courant**. A ces variations du débit correspondent de très importantes variations de la charge ( $C \pm 2$  à 3 g/l) comme on peut par exemple le constater sur l'averse n° 3 de la parcelle labourée de SAKASSOU 4.

L'érosion concentrée continue ne peut procéder que de cette **alternance de prise en charge et décharge** en sédiments transportés permettant d'incessantes et temporaires restaurations de la capacité érosive du courant. Le résultat final au niveau de l'exutoire (canal et goulotte) donne souvent une fausse idée d'abrasion continue et croissante puisqu'il ne peut s'y observer qu'une intégration des effets de ces variations de vitesse résultant du refaçonnement de la parcelle pendant la pluie.

Qu'il s'agisse d'**érosions concentrées occasionnelles** ou d'**érosions concentrées continues**, elles dépendent toutes deux de causes susceptibles de modifier l'homogénéité du milieu : **microdifférenciation verticale** des sols (érosion concentrée occasionnelle), microtopographie (érosion concentrée continue). Il apparaît, d'autre part, que le sol peut se réorganiser superficiellement pour s'adapter aux **variations** des contraintes d'origine pluviales à condition que celles-ci se manifestent de façon **progressive**, des seuils de rupture se déclenchent, par contre, à l'occasion de **variations brutales** de ces niveaux de contrainte.

### XIII.3.3. Conclusion partielle : les érosions liées au ruissellement, extension au versant

Le courant de ruissellement est, comme l'énergie des pluies, à l'origine d'une abrasion du sol, et c'est essentiellement l'équilibre entre la charge et la vitesse de ce courant qui détermine sa capacité de détachabilité.

La charge du courant de ruissellement, lorsqu'elle est constituée d'éléments de diamètre  $\leq 2,0$  mm, n'est pas susceptible d'intervenir directement dans cette abrasion pour ce qui concerne les versants. On sait que c'est par contre le cas pour les éléments de diamètres supérieurs lorsqu'ils se déplacent dans le lit des cours d'eau pour des vitesses d'écoulement pouvant excéder les vitesses du ruissellement sur versants.

Les mesures directes ou le calcul des vitesses du courant de ruissellement sur des parcelles de 10 m de longueur montrent qu'elles atteignent et dépassent souvent la vitesse critique théorique (HJULSTRØM) permettant le détachement et le transport de la terre fine du sol depuis les limons grossiers (0,02 mm pour une vitesse voisine de 40 cm/s) jusqu'aux sables grossiers (2,00 mm pour des vitesses voisines de 15 à 35 cm/s). Pour des diamètres inférieurs, (limons fins et argiles), leur ablation à des vitesses inférieures à celles de vitesses critiques théoriques de détachabilité, qui sont très élevées pour cette classe granulométrique, reste néanmoins possible du fait de l'hétérogénéité texturale du sol ou de leur transport sous une forme micro-agrégée.

Les vitesses calculées à partir des débits de ruissellement sont généralement minorées et ce, en liaison avec la canalisation du ruissellement sur la parcelle, susceptible de provoquer des accélérations locales.

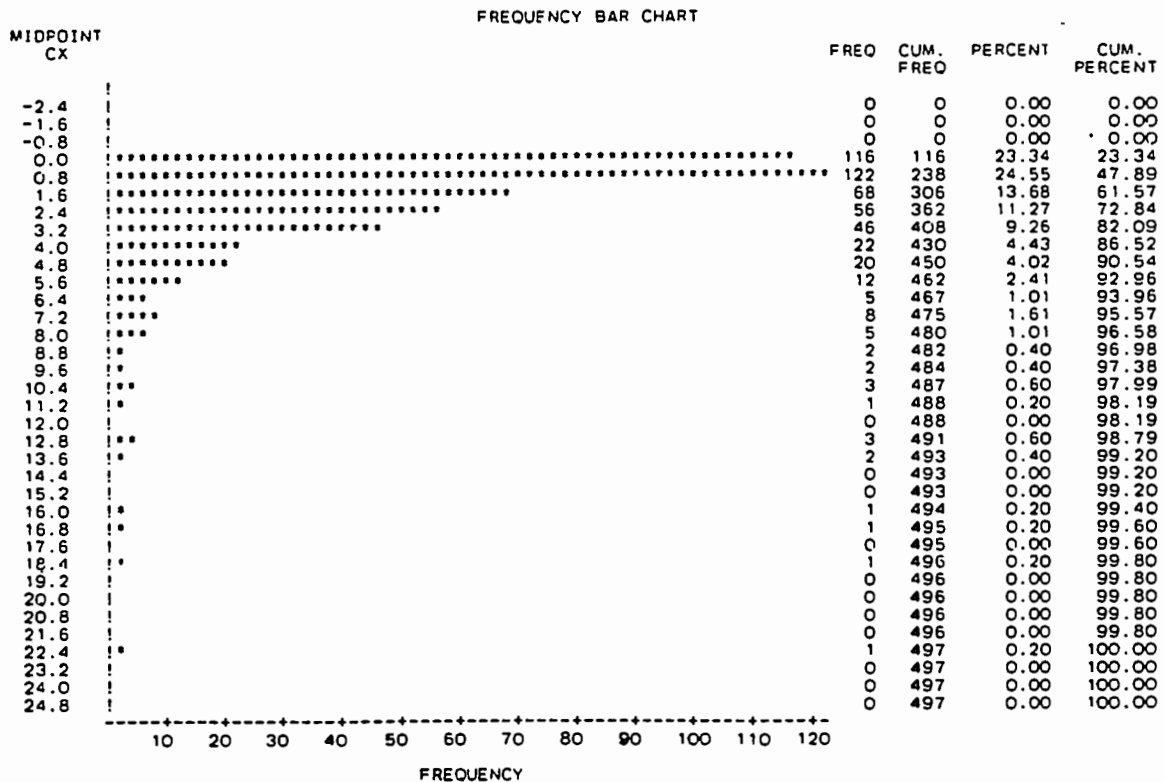


Fig. V.16.: Histogramme de fréquence des paliers de turbidité Cx, toutes situations confondues.

Il n'est pas apparu d'augmentation de détachabilité consécutive à la turbulence de la lame ruisselante (turbulence de fond de lame) parce que pentes et vitesses sont généralement insuffisantes. Il n'est pas exclu, par contre, qu'une turbulence induite par l'agitation de l'eau ruisselant pendant les averses (turbulence de surface) puisse se produire, se propager en profondeur et augmenter la détachabilité pour des lames d'eau peu épaisses.

L'érosion due au courant résulte de deux composantes : l'érosion en nappe et l'érosion concentrée.

L'érosion en nappe est à l'origine de turbidités excédant rarement 2,0 g/l pendant la phase du régime permanent du ruissellement (figure V.16.). Les turbidités liées à cette composante (Cx) augmentent avec le débit de ruissellement lorsque sa charge est insuffisante pour limiter sa capacité érosive potentielle. Cx reste par contre à peu près constant pour des charges équilibrant la capacité érosive de débits croissants.

L'analyse de l'érosion concentrée, qui fait appel à l'interprétation des turbidigrammes, se caractérise par une augmentation limitée ou continue dans le temps de la charge solide des eaux de ruissellement par averses individuelles ; elle aboutit à des pertes en terre pouvant atteindre et dépasser parfois 20 g/l. Elle n'est qu'occasionnelle sur 40 % des parcelles et correspond alors à une exacerbation temporaire de l'abrasion en des zones sensibles où l'érosion en nappe a insidieusement enlevé des microhorizons de plus forte cohésion. Elle intervient par contre de façon continue sur environ 10 % des parcelles labourées, de texture grossière, à faible charge en éléments grossiers, dont les pentes excèdent souvent 3 %, ensemble de conditions surtout réunies chez certains sols ferrallitiques. Les capacités érosives des courants restent très élevées, ceci s'explique par une alternance de charges et de décharges dans des chenaux en constante évolution imposant des fluctuations de débits pendant la phase du régime permanent du ruissellement.

Les conclusions précédentes permettent une extrapolation de la parcelle au versant en tenant compte d'un effet "échelle de mesure".

L'extension des résultats observés sur une parcelle de 50 m<sup>2</sup> à un interfluve peut être envisagée en rappelant, d'une part, que l'inclinaison de la pente topographique augmente la vitesse du courant de ruissellement mais, pour un débit constant, diminue l'épaisseur de la lame ruisselante et que, d'autre part, l'allongement du versant ne joue pas directement sur la vitesse mais intervient par contre sur une augmentation de l'épaisseur de la lame ruisselante. Si l'on considère le cas théorique d'un interfluve occupé par un seul type de sol, deux cas de figures peuvent alors être envisagés :

- versant de profil rectiligne occupé par un sol argilo-sableux sans charge d'éléments grossiers → l'érosion en nappe prédomine quelle que soit la pente topographique parce que la vitesse du courant est régulée par les variations d'épaisseur de la lame ruisselante, la capacité érosive reste donc plus ou moins constante de l'amont à l'aval,

- versant de profil rectiligne occupé par un sol sableux sans éléments grossiers → une érosion concentrée "remonte" le versant sur une distance qui est fonction de la pente topographique et d'une capacité érosive

diminuant de l'amont vers l'aval à cause de la charge en sédiments détachés et transportés depuis l'amont.

Ces deux situations sont évidemment **hypothétiques** en ce qui concerne, d'une part, le profil du versant et, d'autre part, l'homogénéité de la couverture pédologique ; considérons maintenant deux exemples de situations **réelles** dans le milieu intertropical humide :

- interfluve de profil **convexe** occupé par une **couverture pédologique homogène** de sols argileux non gravillonnaires, situation fréquente en zone ferrallitique équatoriale perhumide → une érosion en nappe de faible intensité se manifeste sur l'ensemble du modelé parce que les vitesses critiques d'ablation du courant de ruissellement ne sont jamais atteintes sur des sols contenant souvent près de 50 % d'argile, la capacité érosive du courant pourrait devenir importante car l'eau est peu chargée mais l'abrasion reste faible à cause de cette texture mais aussi parce que l'épaisseur de la lame d'eau est limitée par des pentes fortes sur des versants courts,

- interfluve à profil **convexo-concave** occupé par une **couverture pédologique hétérogène** avec des sols argilo-sableux gravillonnaires en amont devenant sablo-argileux sans éléments grossiers vers l'aval → érosion en nappe faible à nulle en sommet puis, → érosion en nappe forte sur la première rupture de pente par augmentation de la vitesse du courant et, éventuellement, apparition d'une turbulence au niveau d'un épandage gravillonnaire de moins en moins dense puis, → érosion concentrée sur la seconde rupture de pente aux sols plus sableux où la capacité érosive est maximale du fait d'eaux peu chargées et de pentes encore fortes → puis érosion concentrée faible sur la concavité de l'aval où se produisent des dépôts de sédiments car le courant trop chargé y perd sa capacité érosive et sa capacité de transport avec décélération liée à une diminution de la pente topographique.

Enfin, ces variations de la capacité d'abrasion du courant de ruissellement liées à sa charge révèlent le danger de techniques de **conservation des sols** qui se préoccuperaient uniquement de la protection d'un milieu amont restituant vers un milieu aval des eaux peu chargées donc ayant restauré la quasi-totalité de leur capacité érosive.

#### ***XIII.4. L'érosion liée aux conditions d'humectation des sols***

Les effets de l'humectation préalable des sols sur leur érodibilité interviennent de trois façons :

- en modifiant la durée de la phase d'imbibition,
- en modifiant les intensités du ruissellement pendant la phase du régime permanent,
- en modifiant les caractéristiques mécaniques des sols soumis aux averses.

Ces humectations préalables sont déterminées par différentes méthodes de mesures humidimétriques, plus ou moins performantes lorsqu'il s'agit d'appliquer leurs résultats aux comportements de sols d'une parcelle expérimentale de 50 m<sup>2</sup>.

#### *XIII.4.1. Les mesures humidimétriques ponctuelles, problèmes posés par leur intégration sur grandes parcelles*

Les mesures humidimétriques pratiquées sur la quasi-totalité des parcelles visent à caractériser l'état d'humectation des sols avant les averses simulées, à suivre la descente du front d'humectation tout au long des essais et, parfois, pendant les essais (SAKASSOU), à suivre la dynamique de ressuyage permettant de déterminer la capacité au champ et les déficits de saturation par rapport aux volumes poraux maximums (tels qu'ils ont été déterminés dans la deuxième partie) ; elles ont également permis de comparer les hauteurs des lames infiltrées mesurées et calculées.

##### *XIII.4.1.1. Les méthodes de mesures humidimétriques ponctuelles*

Différentes méthodes de mesures ont été combinées, souvent par la force des choses, pour pallier les pannes d'appareils utilisant un asservissement électronique. On a ainsi utilisé :

a) la sonde à neutrons dont le principe de fonctionnement est suffisamment connu pour ne pas devoir être précisé,

b) les sondes à chocs thermiques conçues et mises au point entre les années 1970 et 1975 par POUYAUD et dont le principe d'utilisation doit, par contre, être expliqué (POUYAUD, 1971 ; POUYAUD et al., 1975 ; POUYAUD et al., 1980).

Cet appareil, actuellement commercialisé, mesure les variations des capacités thermiques d'un sol en fonction de son humidité. La mesure de l'élévation maximale de température ( $T_{\max, r}$ , en  $^{\circ}\text{C}$ ) est effectuée à une distance fixe ( $r$  en cm) d'une sonde thermique de longueur constante ( $2c$ , en cm) soumise pendant un laps de temps ( $\Delta t$  en secondes) à un choc thermique d'intensité  $\phi_0$  (en watts) ; l'élévation de température est donnée par :

$$T_{\max, r} = \frac{\phi_0 \cdot \Delta t}{2 \pi \cdot C \cdot e} \times \frac{1}{r^3} \times \frac{1}{[1 + (C/r)^2]^{1/2}} \quad (1)$$

avec  $C$  = capacité thermique volumique du sol en joules  $\text{cm}^{-3} \cdot ^{\circ}\text{C}^{-1}$ ,  
 $e$  = constante d'EULER,

$r$  = distance du point de mesure de la température au segment chauffant en centimètres.

La capacité thermique volumique du sol étant la somme des capacités thermiques de ses constituants, si son humidité volumique est  $\theta$ , on a :

$$C_{\theta} = \theta + C_0$$

avec  $C_0$  = capacité thermique volumique du sol sec,

$$\text{et } \theta = C_{\theta} - C_0 = \alpha / T_{\max} \times \beta \quad (2)$$

•  $\alpha$  reprend les différents termes de l'équation (1) :

$$\alpha = \frac{1}{2 \pi e} \times \frac{1}{r^3} \times \frac{1}{[1 + (C/r)^2]^{1/2}} \times V \times I \times \Delta t$$

avec  $V$  = tension de chauffe en watts,

$I$  = intensité du courant de chauffe en ampères,

•  $\beta$  est une constante caractéristique du sol =  $-C_0$ , déterminée sur sol sec.

L'élévation de température du sol est donc une fonction de son état d'humidité au moment de la mesure. Pratiquement, l'installation du dispositif se fait en enfonçant dans le sol deux sondes moulées dans un bloc de résine : l'une, qui détermine l'échauffement, est une résistance (fer à souder de circuits imprimés), l'autre, à distance fixe de la première, est un thermocouple lisant la montée en température du sol au moment du choc thermique. Ces sondes sont reliées à un dispositif électronique fournissant le courant de chauffe et enregistrant les élévations de température à 1/100ème de degré centigrade près. La dernière génération d'appareils (1979) dispose d'un faisceau de 4 couples de sondes et permet une automatisation des lectures. Le dépouillement des données est basé sur la différence entre les températures initiales et finales et sur un étalonnage des sols permettant de connaître les coefficients  $\alpha$  et  $\beta$  de la formule (2).

Les pannes de sonde à neutrons ont obligé à en revenir aux **méthodes manuelles de mesures gravimétriques** (sondage à la tarière, pesage, séchage des échantillons), les sondes à chocs thermiques étant surtout utilisées sur les petites parcelles de l'infiltromètre à aspersion (1 m<sup>2</sup> de superficie) par un collègue lors de missions communes (1979 et 1980).

L'introduction de sondes dans le sol permet de disposer d'un poste de mesure fixe où les déterminations peuvent être répétées aussi fréquemment que désiré à différentes profondeurs. Ces mesures sont couramment menées sur des placettes de faible superficie. Leur fiabilité dépend cependant de la stabilisation de la terre au contact des sondes, de la sphère d'influence neutronique (diamètre voisin de 20 cm) ou thermique (diamètre voisin de 3 cm) et de la robustesse des systèmes électroniques amplificateurs du courant électrique résultant de la transformation des énergies initialement dégagées par irradiation ou par chauffe. Ces techniques sont intéressantes sur petites parcelles installées depuis suffisamment longtemps pour pouvoir espérer une restauration des caractéristiques physiques de la terre remaniée.

Aux environs immédiats des sondes, la représentativité des mesures est restée satisfaisante chaque fois que celles-ci pouvaient être installées au moins une saison avant les mesures (OURSI, SAKASSOU p. ex.). Le caractère exhaustif de la plupart des missions n'a malheureusement pas toujours permis cette longue antériorité des installations aux mesures.

Ajoutons que d'autres problèmes sont, quant à eux, liés aux caractéristiques des sols :

- implantation malaisée des sondes dans les sols à forte **charge en éléments grossiers** où la représentativité des mesures est en outre sujette à caution :

• parce que la zone de contact entre la sonde et le sol est le lieu d'infiltrations préférentielles,

- parce que le broyage des gravillons ferrugineux lors du sondage préliminaire fournit un matériau aux propriétés hydrodynamiques différentes,

- parce que les sondes à chocs thermiques étant très sensibles à la distance les séparant, il faut craindre des aberrations liées à l'intercalation d'éléments grossiers entre la résistance et le thermocouple,

- dans les **sols carapacés ou cuirassés**, en dehors des problèmes techniques d'installation, il est impossible de mesurer le "front sec" car ces indurations sont presque toujours fissurées donc perméables,

- dans les **sols à argile gonflante**, en dehors des problèmes d'implantation des dispositifs dans ces sols en saison sèche, la qualité et la répétitivité des mesures dépendent de la présence ou de l'absence de fissures non détectées et de la dynamique des volumes apparents tout au long des essais.

#### *XIII.4.1.2. L'utilisation des mesures humidimétriques ponctuelles*

Les humidités volumiques des sols sont utilisées pour le calcul des déficits hydriques de saturation des sols ( $\Delta \theta$ ) avant chaque essai. Ce déficit de saturation intervient sur les paramètres explicatifs du ruissellement (hauteur de la pluie d'imbibition  $P_i$ , intensités d'infiltration à régime constant  $F_n$ ). Il convient cependant de connaître l'épaisseur de la tranche de sol pour laquelle ces paramètres sont les mieux corrélés au déficit de saturation, on se rend alors compte que les volumes de sol fournissant les meilleures corrélations varient fortement en fonction des types de sol et de leurs situations expérimentales.

Dans les **zones sèches**, les faibles conductivités hydrauliques superficielles montrent qu'il y est plus judicieux de retenir les 5 ou les 10 premiers centimètres, ceci exclut déjà l'utilisation de la sonde à neutrons dont la sphère d'influence intègre les humidités dues aux sursaturations de la surface (flaques) et la siccité des horizons sous-jacents. On y observe généralement les ressuyages représentés sur la figure V.17, avec des variations de  $\Delta \theta$  importantes, rapides et peu lisibles pendant la première heure et une stabilisation vers un déficit de saturation de 70 % quels que soient les types de sols au-delà de 10 heures de ressuyage si l'on considère un volume correspondant aux 50 premiers centimètres.

Par contre, dans les **zones humides**, la forte conductivité superficielle permet une humectation profonde et une spécificité des réactions hydrodynamiques par type de sol ; ces différences de dynamique apparaissent sur les exemples de la figure V.18 (GALMI et SAKASSOU).

Un deuxième handicap provient de la médiocre représentativité spatiale des mesures humidimétriques ponctuelles. On a vu, en effet, que l'hétérogénéité topographique de la surface de la parcelle induisait des répartitions hétérogènes des lames d'eau ruisselantes mais aussi infiltrées ; des mesures humidimétriques gravimétriques effectuées dans l'anneau de garde (sur 100 m<sup>2</sup> environ) ont démontré cette variabilité qui ne pourrait être réduite qu'en multipliant les sondages dans des proportions amenant de trop importants remaniements du site expérimental.



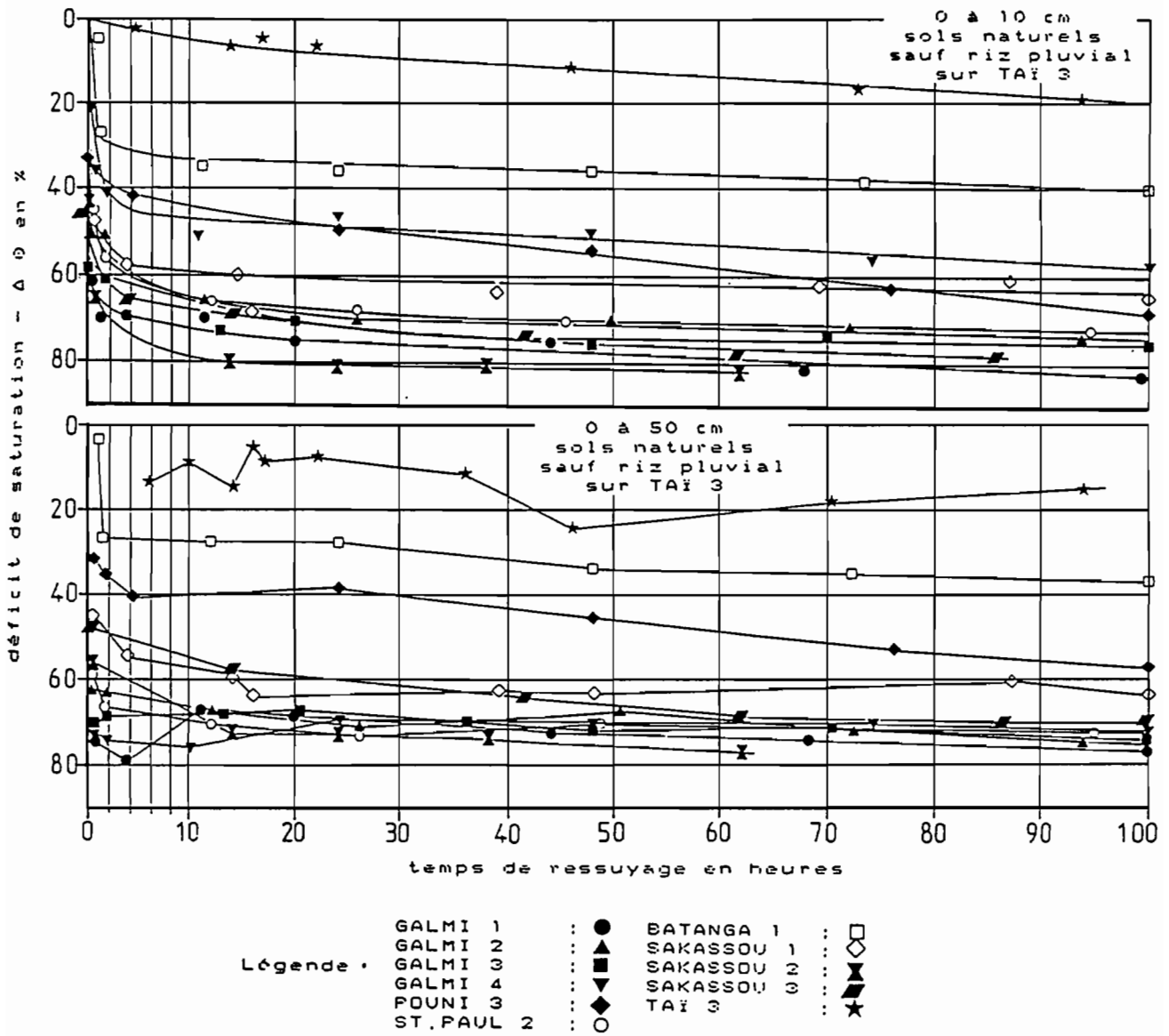


Fig. V.17.: Dynamique de ressuyage des sols "naturels", prise en compte des 10 ou des 50 premiers centimètres.

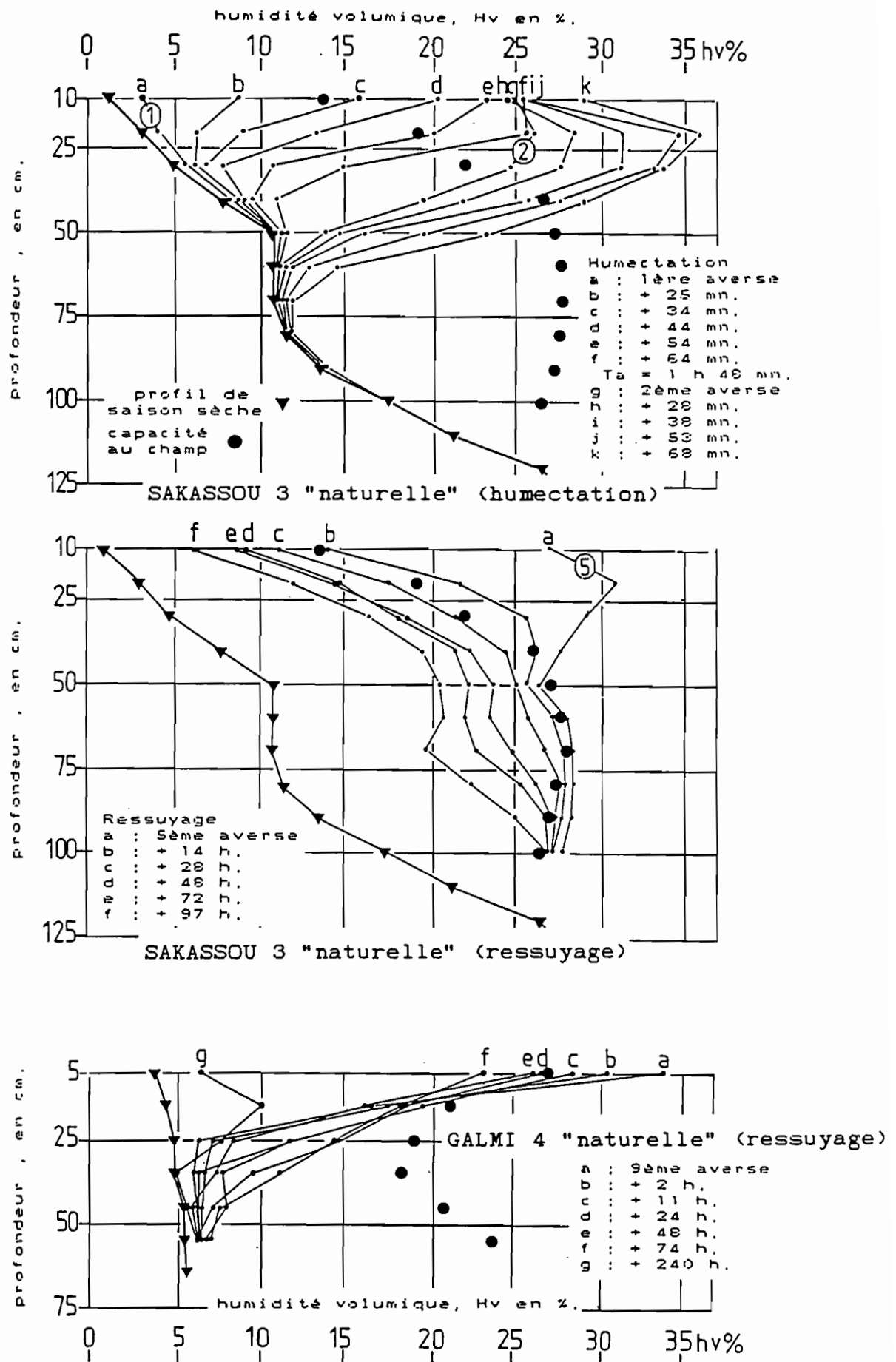


Fig. V.18.: Exemples de cinétiques d'humectation et de ressuyage en zone sahélienne (GALMI) et en zone guinéenne (SAKASSOU).

Enfin, et c'est probablement la contrainte la plus sérieuse, dans toutes les plages où se manifestent d'importantes modifications de la structure de surface au cours des averses successives, le passage de l'humidité pondérale à l'humidité volumique exige de nombreuses et destructrices déterminations de densité apparente des différentes tranches de sol concernées par les mesures. Si ceci ne soulève pas de problèmes techniques particuliers, leur multiplication nécessite des moyens très importants en personnel et en matériel perturbant le déroulement des missions.

#### *XIII.4.1.3. L'intégration des caractéristiques hydriques sur parcelles*

Compte tenu des restrictions d'utilisation des mesures ponctuelles énumérées précédemment, les expérimentateurs sur parcelles se sont orientés vers l'utilisation d'un indice d'humidité des sols basé sur les hauteurs des pluies antérieures et mis au point par KOHLER et LINSLEY (1951), cet indice est de forme exponentielle :

$$IK_n = (IK_{n-1} + P_{n-1}) e^{-\alpha \tau_n} \quad (1)$$

avec  $IK_n$  = indice d'humidité du sol avant l'averse de rang  $n$ ,  
 $P_{n-1}$  = hauteur de l'averse de rang  $(n-1)$  en mm,  
 $\tau_n$  = temps de ressuyage séparant la fin de la pluie  $(n-1)$  du début de la pluie  $n$ , en jours et fractions de jour,  
 $\alpha$  = coefficient de calage,

$IK$  est donc égal à 0 au début de la première pluie intervenant sur sol sec ( $\tau_n >$  plusieurs mois).

Après de nombreuses campagnes de simulation de pluies (CASENAVE, 1978 ; CASENAVE, 1982 ; CASENAVE et al., 1985 ; GIODA, 1983 ; COLLINET, 1985 ; ALBERGEL et al., 1985 ; CASENAVE et VALENTIN, 1987), il est apparu possible de retenir un coefficient  $\alpha = 0,5$  unique pour l'ensemble des milieux caractéristiques des zones sèches et humides de l'Afrique de l'Ouest sans que les résultats ne présentent une trop excessive dispersion. Cet indice a d'ailleurs été utilisé dans cette étude pour sélectionner les couples de variables  $I_m$  et  $F_n$  entrant dans l'équation de régression :

$$F_n = a I_m + b \quad (2)$$

et ayant permis de discriminer les comportements hydrodynamiques des parcelles lors de l'analyse de l'interception de l'énergie des averses par la lame ruisselante.

On a tenté d'améliorer les corrélations dans l'équation (2) en introduisant dans la formule (1), non pas la hauteur de pluie antérieure  $P_{n-1}$ , mais la hauteur de la lame infiltrée préliminaire  $W_{n-1}$ , pensant substituer à une hauteur d'eau dont on ne connaît pas à l'avance la partition entre ruissellement, évaporation et infiltration, une hauteur réellement infiltrée. Comme cela était prévisible, les corrélations se sont trouvées améliorées pour les sols des zones humides et péjorées pour les sols des zones sèches. Cependant, on en est revenu à la formulation initiale pour une autre raison : cette

formule fournit une information, plus ou moins dérivée selon les milieux, sur l'état d'humectation antérieur du sol **mais aussi** une information, également dérivée, sur l'évolution des conductivités hydrauliques de la surface du sol dans les zones où celle-ci contrôle l'hydrodynamique du profil. En effet, les hauteurs  $P_{n-1}$  interviennent, pro parte, sur l'érosivité de l'averse, donc sur l'évolution porale de la surface ; il serait intéressant de donner au paramètre  $P_{n-1}$  cette dimension énergétique au moins dans les zones où celle-ci joue un grand rôle.

Lorsque l'on s'en tient aux essais effectués sous simulation de pluies, il est aussi apparu que, dans les expressions des paramètres conditionnels du ruissellement, le simple **temps de ressuyage "Ta"** fournissait lui aussi une bonne caractérisation des humidités antérieures des sols, ceci peut paraître surprenant en d'autres circonstances où l'on donnerait autant d'importance aux faibles hauteurs de pluies qu'aux fortes averses, en fait, les protocoles expérimentaux étant basé sur l'imitation d'événements pluviométriques d'occurrence décennale, la combinaison d'intensités variées amène une homogénéisation des hauteurs des averses et Ta représente également une bonne intégration des caractéristiques hydriques des parcelles.

#### *XIII.4.2. Rôle de l'humectation préliminaire des sols sur l'érosion liée à l'énergie des pluies*

Pendant la phase d'imbibition, définie dans le paragraphe VIII.1. de la quatrième partie, l'infiltration est d'abord totale avec une intensité potentielle d'infiltration  $F_0$  supérieure en tous points de la parcelle à l'intensité moyenne de la pluie simulée  $I_m$ . Par la suite, en divers points où le déficit de saturation  $\Delta \theta$  diminue, l'eau commence à se rassembler dans les dépressions du sol, puis celles-ci débordent et les premiers ruissellements parviennent au canal.

La hauteur de la pluie d'imbibition dépend donc, d'une part, de l'intensité de la pluie et, d'autre part, du déficit de saturation du sol recevant cette pluie. La détachabilité du sol liée à l'énergie des pluies (splash) est maximale pendant cette phase, et la masse de sédiment en résultant et ultérieurement mobilisée par le ruissellement, croîtra avec l'allongement de cette phase et ce, proportionnellement, si l'on admet, en première approxi-mation, une détachabilité non modifiable par l'humectation préliminaire.

Il est donc intéressant d'étudier la **relation liant la pluie d'imbibition à l'état hydrique**, et, comme il s'agit d'érosion, il est plus judicieux de donner à  $P_i$  une dimension énergétique en utilisant son **érosivité spécifique** que l'on désignera par  $EVP_i$  et qui se calcule en tenant compte de l'érosivité globale de l'averse (EV) et de sa hauteur ( $P_u$ ), on a en effet :

$$EVP_i = \frac{EV \cdot P_i}{P_u}$$

avec  $EVP_i$  = érosivité spécifique pendant la phase d'imbibition, en joules/m<sup>2</sup> × mm,

EV = érosivité totale de l'averse de hauteur  $P_u$ , en joules/m<sup>2</sup> × mm,

$P_u$  = hauteur de l'averse, en mm,

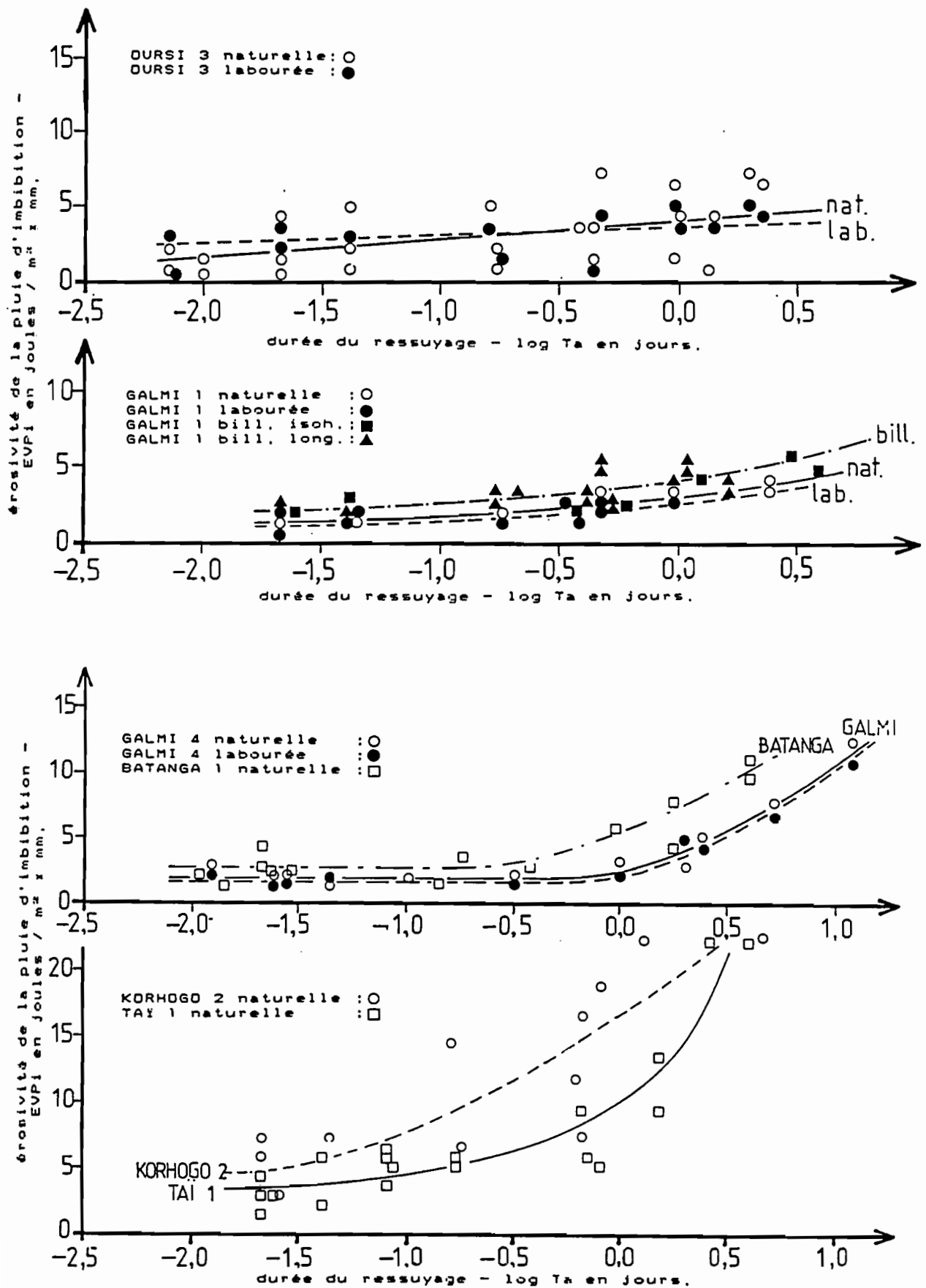


Fig. V.19.: Augmentation de la pluie d'imbibition et de son énergie avec l'allongement du temps de ressuyage - relation  $EVP_i = f(\log T_a)$  -

$P_i$  = hauteur de la pluie d'imbibition, en mm.

On constate que, dans près de 80 % des cas,  $EVPI$  est une fonction croissante du déficit de saturation ou encore de  $T_a$  (figure V.19.). On constate également quelques variantes intéressantes car elles sont liées aux domaines pédoclimatiques et aux textures des sols :

- dans les zones sèches et sur les sols les plus sableux, la relation  $EVPI$  ( $T_a$ ) est une fonction croissante, monotone, traduisant une stabilisation rapide des caractéristiques porales de la surface (OURS I 3 et GALMI 1 p. ex.),

- dans ces mêmes zones, mais sur les sols les plus argileux cette fonction reste croissante mais subit une inflexion positive au bout de 2 à 5 heures de ressuyage correspondant à des humidités en deçà de la capacité au champ où les argiles commencent à se rétracter (BATANGA et GALMI 4 p. ex.),

- vers les zones soudano-guinéennes et guinéennes (KORHOGO 2, SAKASSOU 1, TAÏ 1), on observe aussi des inflexions correspondant, soit à la capacité au champ des horizons de surface ( $T_a$  de 10 à 24 heures selon les sols) lorsque les essais ont lieu en saison humide, soit à la saturation, après dégazage des horizons de profondeur, lorsque les essais se déroulent en saison sèche (SAKASSOU).

On considère ensuite les effets de cette augmentation d' $EVPI$  sur la détachabilité des sols non encore submergés par la lame de ruissellement en retenant les variations correspondantes de la différence de charge  $C_s - C_x$ , celle-ci étant la plus susceptible d'isoler les effets du splash (chapitre XII.2.4.). Différents exemples illustrant la relation :

$$C_s - C_x = f(EVPI)$$

sont regroupés sur les graphiques de la figure V.20.

La charge essentiellement due au splash croît effectivement avec l'allongement de la phase d'imbibition dans 40 % des cas environ ; comme cette relation ne peut être établie que pour les parcelles fournissant des turbidigrammes permettant d'obtenir  $C_s$  et  $C_x$ , on peut penser que ce processus se déroule de la même façon sur un plus grand nombre de cas. Le tableau LXXVI présente les paramètres de l'équation de régression de  $EVPI$  en  $C_s - C_x$  pour les exemples cités et présentés sur la figure V.20.

=====

**Tableau LXXVI**  
Paramètres de l'équation  $C_s - C_x = f(EVPI)$

SITES	a	b	n	r
1	2	3	4	5
OURS I 3 naturelle	0,34	0,73	15	0,919**
labourée	1,39	0,32	13	0,431**

=====

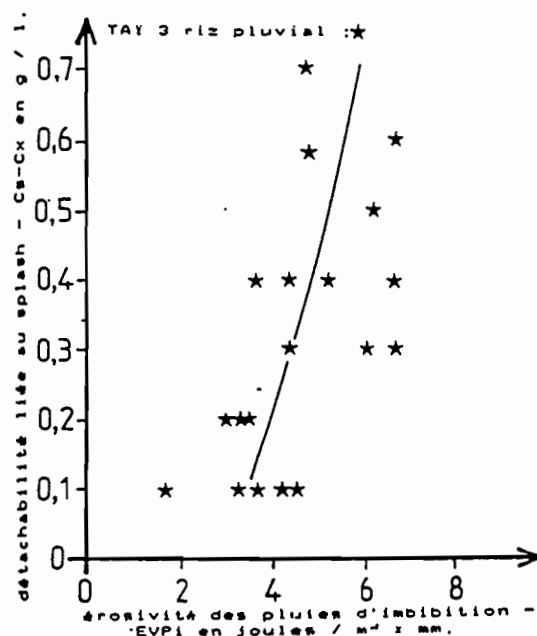
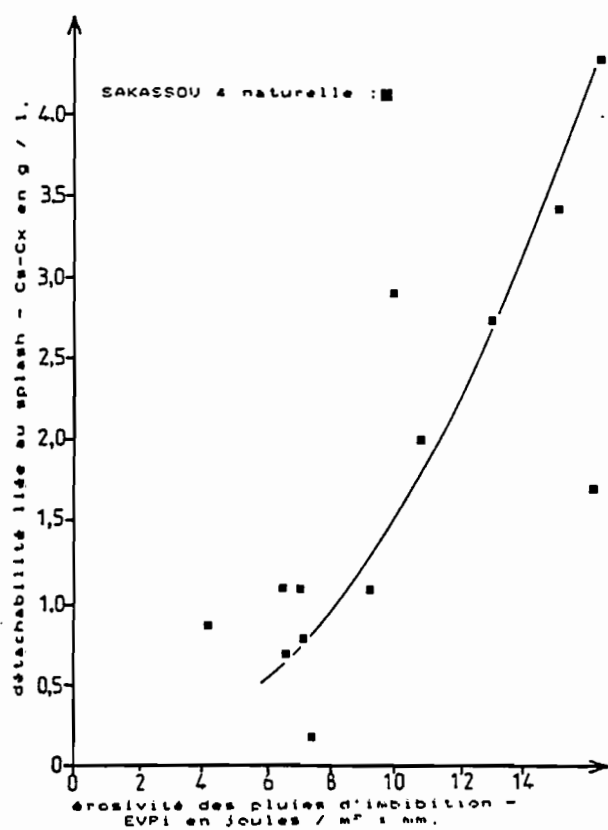
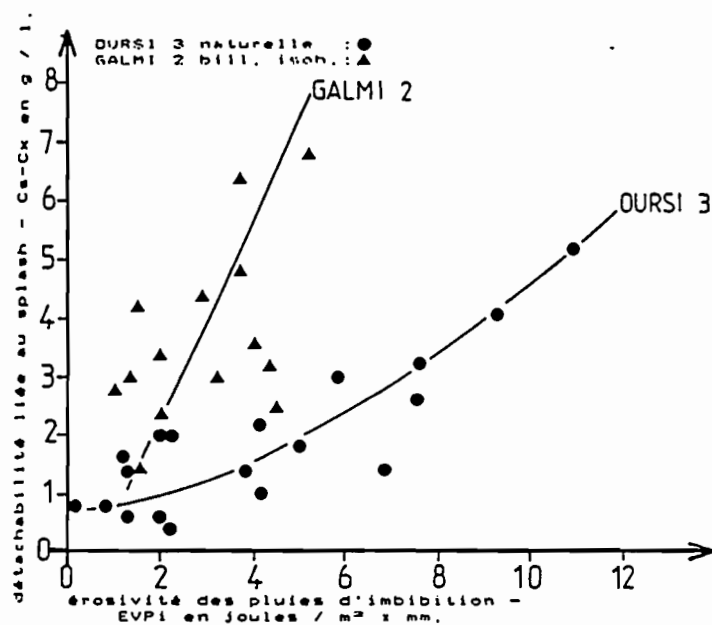


Fig. V.20.: "Splash" lié à l'énergie de la pluie d'imbibition - relation  $Cs-Cx = f(EVPi)$  -

GALMI 1 naturelle	0,75	0,44	10	0,643*
labourée		effectif insuffisant		
GALMI 2 naturelle		effectif insuffisant		
labourée	1,09	2,52	8	0,638*
billons isohypses	0,78	1,56	13	0,708**
POUNI 2 naturelle	0,20	-0,52	7	0,822**
labourée		effectif insuffisant		
LOUMBILA 1 naturelle	-	-	9	0,227 <sup>ns</sup>
labourée	0,40	-0,11	8	0,858**
KORHOGO 2 naturelle	0,01	0,35	11	0,400 <sup>ns</sup>
labourée	0,24	0,59	8	0,650*
SAKASSOU 4 naturelle	0,22	-0,53	11	0,709**
labourée		effectif insuffisant		
TAÏ 3 naturelle	0,01	0,78	18	0,261 <sup>ns</sup>
labourée	-2,04	9,24	8	-0,235 <sup>ns</sup>
riz pluvial	0,08	-0,06	17	0,604**

#### Légende

colonne 1 : sites et situations expérimentales,  
colonne 2 : pente de la droite de régression,  
colonne 3 : ordonnée à l'origine,  
colonne 4 : effectif des données,  
colonne 5 : coefficient de corrélation et test de signification  
(\*\* : 0,01% , \* : 0,05% , ns : non significatif)

On constate que le rôle protecteur des épandages gravillonnaires (POUNI 2) ou des couverts végétaux denses (TAÏ 3 en riz pluvial) se manifeste très nettement.

#### XIII.4.3. Rôle de l'humectation préliminaire des sols sur l'érosion liée au courant de ruissellement

On a vu précédemment que la vitesse du courant de ruissellement intervenait dans l'ablation des éléments cohérents du sol ainsi que dans le transfert des sédiments résultant de la détachabilité. Dans le cas d'une érosion en nappe, et pour un rugosité constante tout au long des averses, cette vitesse croît proportionnellement au débit de ruissellement déterminé par Rx à laquelle correspond l'intensité d'infiltration Fn. Dans la caractérisation des comportements hydrodynamiques des parcelles s'appuyant sur la relation Fn(Im), on a constaté que cette relation s'exprimait par un faisceau de droites de pente "a" et d'ordonnée à l'origine "b" variant en fonction de l'humectation antérieure des sols. Dans le cas de parcelles à comportement homogène, il est possible d'isoler strictement le rôle de l'humectation préalable des sols sur Fn donc sur Rx donc sur la vitesse du courant de ruissellement.



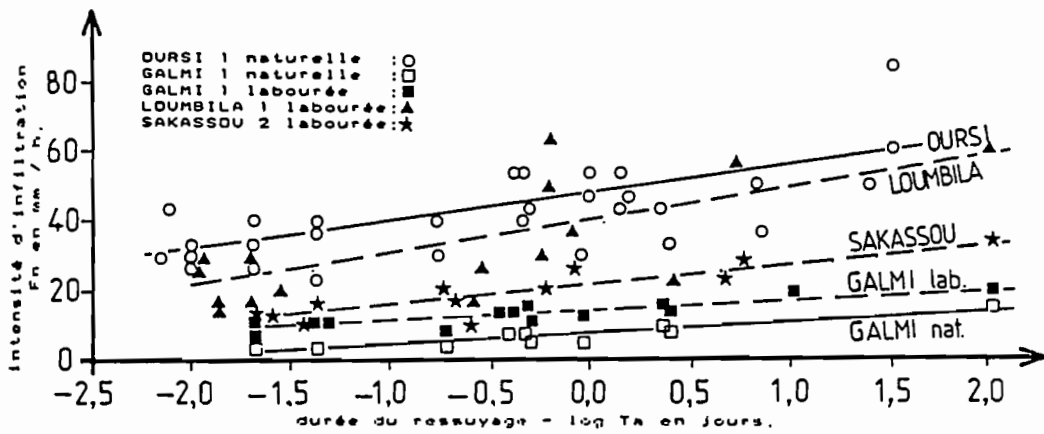


Fig. V.21a.: Augmentation de l'infiltration avec le ressuyage des sols - relation  $F_n = f(\log T_a)$ -

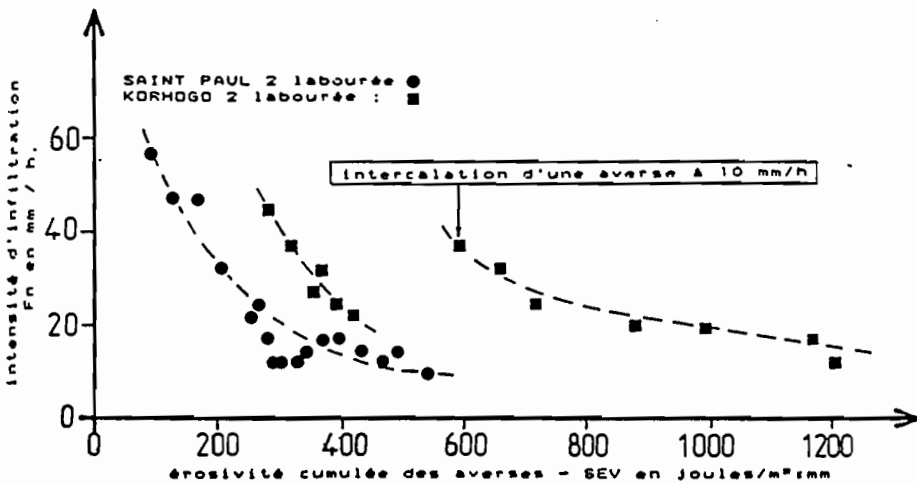
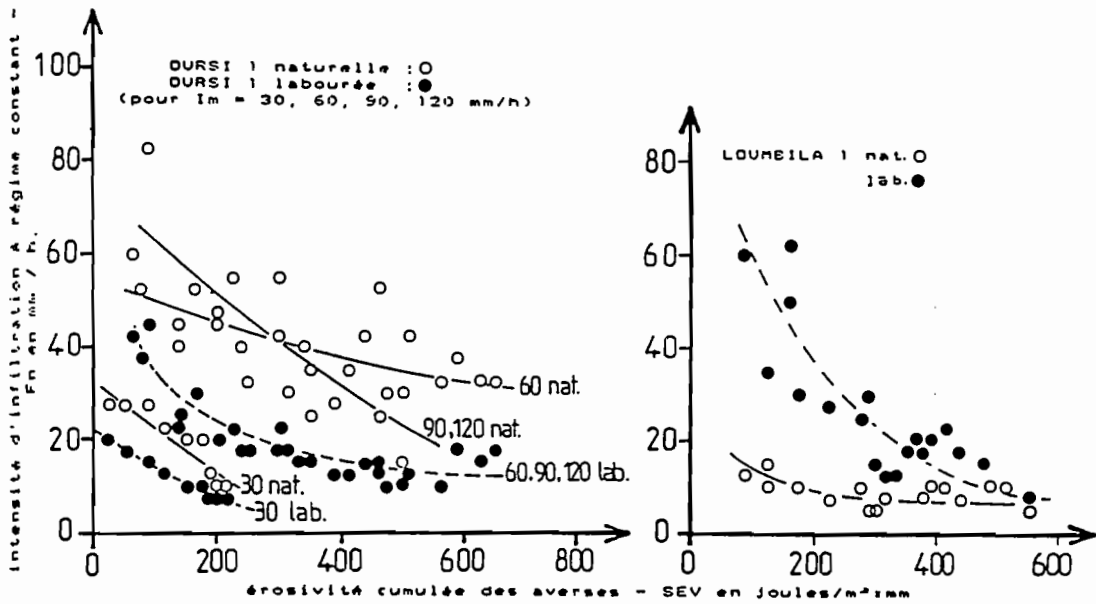


Fig. V.21b.: Colmatage des porosités superficielles avec le cumul de l'énergie des averses - relation  $F_n = f(SEV)$ -

Pour une parcelle donnée,  $F_n$  croît proportionnellement au déficit de saturation du sol lui-même lié au temps de ressuyage  $T_a$ , la relation :

$$F_n = f(\log T_a)$$

illustre cette évolution sur quelques exemples dont les graphiques sont regroupés sur la figure V.21.a.

Sur l'ensemble des parcelles, on constate que cette relation devient **moins étroite** sur les sols sableux (SAINT PAUL 2 p. ex.) et sur les sols labourés, et que les variables deviennent **indépendantes** lorsque les parcelles possèdent une forte charge en éléments grossiers (TAÏ 1 naturelle p. ex.) ou un couvert végétal dense (SAKASSOU 2 sous savane haute en saison des pluies).

Une autre cause de la **dispersion des points** est liée à l'évolution de la surface du sol avec le cumul des énergies des averses. Aussi, pour un temps de ressuyage identique, l'infiltrabilité est-elle plus forte en début de protocole que vers sa fin, ceci est dû au colmatage de la surface souvent démontré même sur petites parcelles (VALENTIN, 1985). Cette accentuation du colmatage apparaît sur les mêmes exemples que précédemment en exprimant cette fois l'intensité d'infiltration  $F_n$  en fonction de l'érosivité cumulée des averses SEV (en joules/m<sup>2</sup>xmm) (figure V.21.b).

Les actions conjuguées de l'humidité antérieure et de l'énergie cumulée des averses sur les débits de ruissellement ont été schématisées sur les blocs-diagrammes de la figure V.22., où l'on a également fait ressortir les effets résumés de la granulométrie, de la charge en éléments grossiers et du labour :

- en leur état **naturel**, les sols **sableux** fournissent les plus forts ruissellements avec le cumul **érosivité + humectation**, l'humectation renforce beaucoup le rôle de l'énergie des pluies car ces sols sont sensibles au splash ; par rapport aux sols sableux, les sols plus **argileux** sont par contre plus sensibles aux conditions de l'humectation, leurs débits maximums sont rapidement atteints et ce, indépendamment de l'énergie des averses,

- une charge en **éléments grossiers**, surtout fréquente pour les sols les plus argileux diminue considérablement le ruissellement dont les débits croissent indépendamment de l'érosivité cumulée,

- lorsqu'ils sont **labourés**, les sols **sableux** fournissent rapidement les débits maximums car ils sont sensibles à l'érosivité dès les faibles humectations, il peut se faire qu'une érosion concentrée provoque la réouverture de porosités superficielles constatée sur SAKASSOU et déjà signalée dans les travaux de ROOSE (1981) ; LAFFORGUE et NAAH (1976) ; VALENTIN (1985). Cette particularité explique la "troncature" du bloc diagramme de la figure V.22.b. dans l'espace "sol humide + forte érosivité",

- les sols **argileux** labourés sont encore plus sensibles aux conditions d'humectation qu'en leur état naturel et l'effet humectation est renforcé par l'érosivité, il en résulte un colmatage superficiel important expliquant les débits de ruissellement maximums dans l'espace "sol humide + forte érosivité".

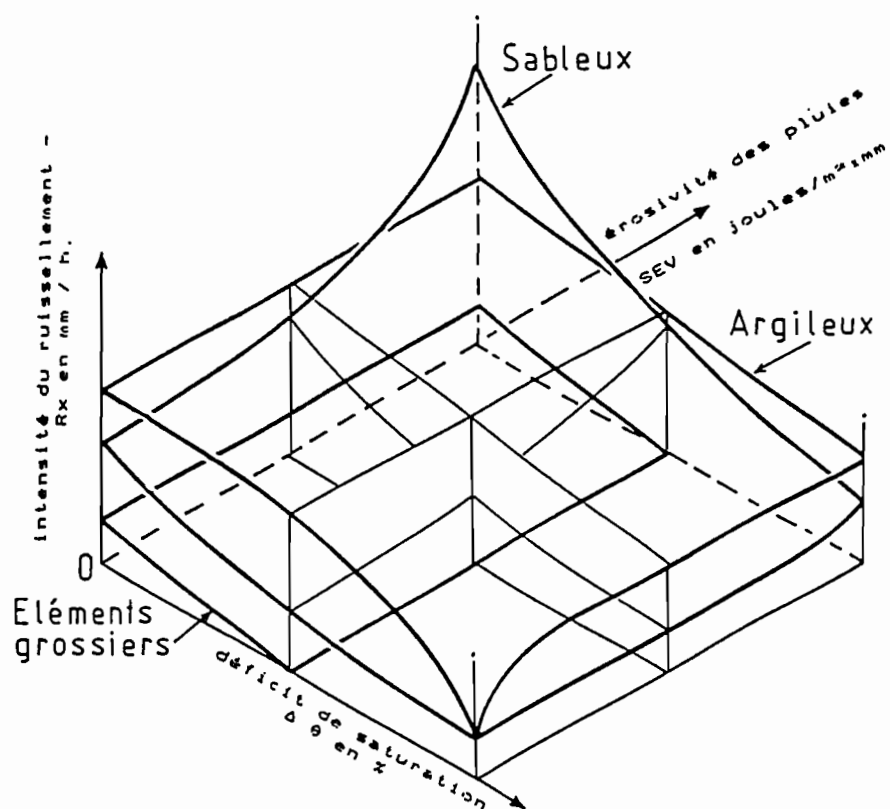


Fig. V.22a.: Effets conjugués de l'humectation et de l'érosivité sur l'intensité du ruissellement en régime permanent, sols "naturels".

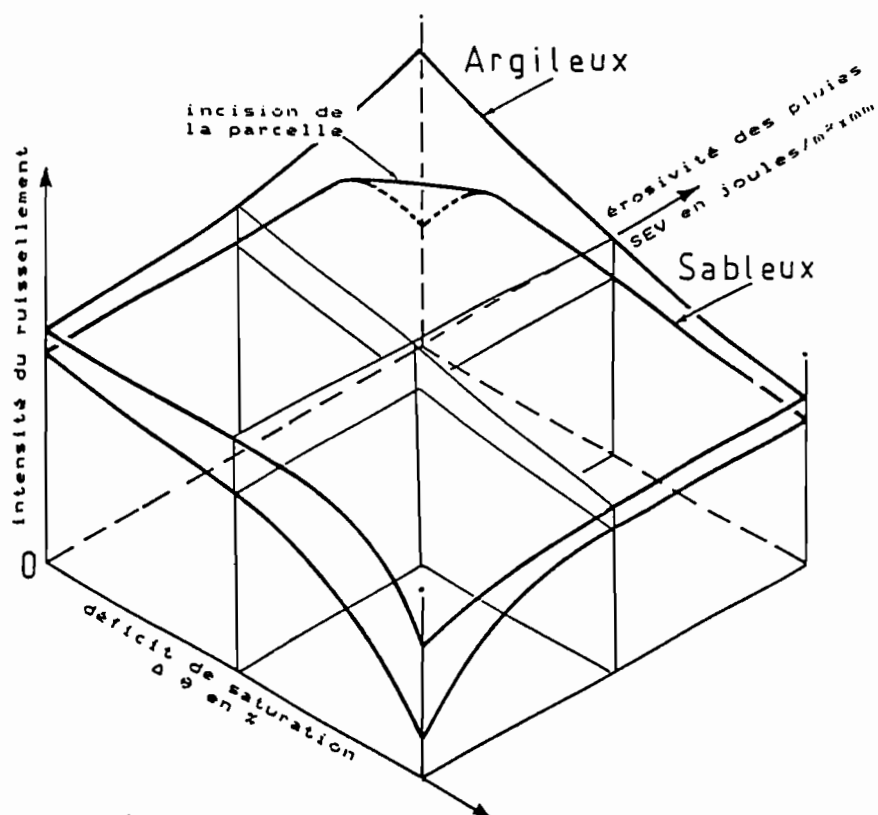


Fig. V.22b.: Effets conjugués de l'humectation et de l'érosivité sur l'intensité du ruissellement en régime permanent, sols "labourés".

#### XIII.4.4. Rôle de l'humectation préliminaire sur les caractéristiques mécaniques des sols et sur leur détachabilité

La détachabilité des sols, relative soit à l'énergie des pluies, soit à la vitesse du courant de ruissellement, est généralement préparée par d'autres processus résultant de la simple hydratation d'éléments non structurés ou agrégés. Les résultats de l'hydratation ont été identifiés à la suite de travaux portant sur la dispersion de sols initialement secs en leurs différents éléments constitutifs (HENIN, 1938 ; HENIN et MONNIER, 1956 ; COMBEAU et QUANTIN, 1962 ; MONNIER, 1965 ; FEODOROFF, 1965). Cette dispersion est toujours due à l'apparition de tensions internes consécutive à l'hydratation. Son préliminaire correspond soit à des phénomènes de gonflement provoqués par l'introduction d'eau entre les feuillets des cristallites d'argile, soit à des phénomènes de compression de l'air emprisonné dans les capillaires où la progression de l'eau fait éclater l'agrégat.

La résistance des sols à ces dégradations structurales dépend de leurs caractéristiques intrinsèques, elle est quantifiée grâce à différents tests permettant d'apprécier leurs instabilités structurales. On se limitera ici à analyser les conséquences des variations de l'humidité en considérant les dégradations liées soit à une sursaturation hydrique, pour laquelle le sol se comporte comme un liquide plus ou moins visqueux, soit à une ultradessiccation.

Les propriétés mécaniques des sols liées à leur humectation ont été étudiées par ATTERBERG (1912) qui a défini à l'aide de tests de laboratoire, différentes humidités critiques modifiant les comportements mécaniques des sols : limites de retrait, limite inférieure de plasticité, limite de liquidité et, un peu avant cette dernière, le seuil d'adhésivité.

En ce qui concerne l'érosion hydrique, deux valeurs sont particulièrement intéressantes : la limite de liquidité, à partir de laquelle les éléments du sol commencent à fluer, et la limite de retrait à partir de laquelle le volume apparent d'un échantillon de sol cesse de diminuer lorsque se poursuit la dessiccation. Dans le premier cas (liquidité), on se situe dans une gamme d'humidité permettant l'ablation complète de microhorizons. Dans le second cas (retrait), on se place dans une gamme d'humidité où se produisent des réajustements structuraux permettant soit la réouverture de porosités superficielles, soit la construction d'éléments structuraux isolés de leur substrat et, de ce fait, exportables dans certaines conditions (copeaux de dessiccation).

On se propose donc d'étudier les influences de ces conditions extrêmes d'humectation sur la détachabilité à l'aide d'exemples de comportements érosifs détectés par la relation :

$$CM1 = f(\log. Ta)$$

CM1 = turbidité moyenne des eaux de ruissellement à l'issue d'une averse (g/l),  
Ta = temps de ressuyage en jours et fractions de jour entre deux averses consécutives.

Deux parcelles installées sur des sols argilo-limono-sableux vertiques présentent une évolution intéressante de leurs charges solides en

fonction des durées de ressuyage, il s'agit de GALMI 4 et de BATANGA 1 (cf. figure V.23.) :

- pour un temps de ressuyage compris entre 15 et 45 minutes, on note une diminution rapide et importante de la charge solide sur le sol labouré, celle-ci passe en effet de 10 g/l à 3 g/l sur les deux exemples,
- on observe un palier de charge d'environ 3 g/l entre 45 minutes et 20 à 24 heures,
- au-delà de 24 heures la charge augmente continuellement avec l'allongement de  $T_a$ , ce qui a pu être suivi jusqu'à 20 jours sur BATANGA et 6 jours sur GALMI.

La lecture, sur les courbes de ressuyage, des humidités volumiques correspondant à ces différents instants et l'exploitation combinée des résultats fournis par les tests d'ATTERBERG montrent que les limites de liquidité (L.L.) sont atteintes et dépassées sur BATANGA ( $H_{vL.L.}$  35,7 %) et sur GALMI 4 ( $H_{vL.L.}$  38,5 %), ce qui détermine en deçà des 45 minutes de ressuyage des périodes pendant lesquelles la surface de ces deux sols peut s'éroder par liquéfaction. (figure V.24).

Pour des temps de ressuyage compris entre 45 minutes et environ 24 heures, une dessiccation suffisante confère aux deux sols assez de cohésion pour que leur détachabilité puisse s'expliquer par les processus étudiés dans les paragraphes I.1. et I.3. précédents.

Pour des dessiccations excédant 24 heures et s'étendant sur plusieurs dizaines de jours, on s'approche, ou l'on atteint, des conditions d'humectation en deçà desquelles les argiles se fissurent. Ces limites de retrait (L.R.) sur des échantillons prélevés dans une tranche comprise entre 0 et 7 cm correspondent à des teneurs en eau qui sont respectivement de 22,0 % sur BATANGA et 23,4 % sur GALMI. L'observation des parcelles montre que c'est effectivement à partir de trois jours de ressuyage qu'apparaissent çà et là, sur la surface des sols dénudés, des copeaux de dessiccation rebroussés et détachés de microhorizons sous-jacents de granulométrie plus grossière. Remarquons qu'il n'est pas nécessaire d'atteindre la limite de retrait sur la totalité de la tranche de 7 cm prélevée pour que puisse se former ces structures lamellaires étant donné l'albédo de ces sols foncés et le très fort gradient de température qu'en résulte sur quelques millimètres.

On attribue ainsi la seconde augmentation de la charge solide à l'ablation puis à la dispersion de ces petits éléments structuraux qui font quelques centimètres carrés sur 1 à 2 millimètres d'épaisseur. L'énergie requise pour leur ablation est d'autant plus faible que leur formation résulte de processus de décantation et que, par conséquent, leurs limites inférieures correspondent à des strates sableuses fines non cohérentes. Ce comportement reste cependant limité aux sols argilo-limoneux vertiques, surtout lorsqu'ils sont labourés car, alors, les éventuelles accumulations sableuses fines d'origine éolienne, ou les dépôts limoneux alluvionnaires (GALMI 4) sont enfouis.

L'analyse des évolutions des turbidités en fonction des temps de ressuyage sur les sols sablo-argileux ne révèle aucune manifestation de ce genre, car ils restent "rigides" quelles que soient les conditions d'humectation, et leur érosion ne s'y développe qu'au dépens d'éléments

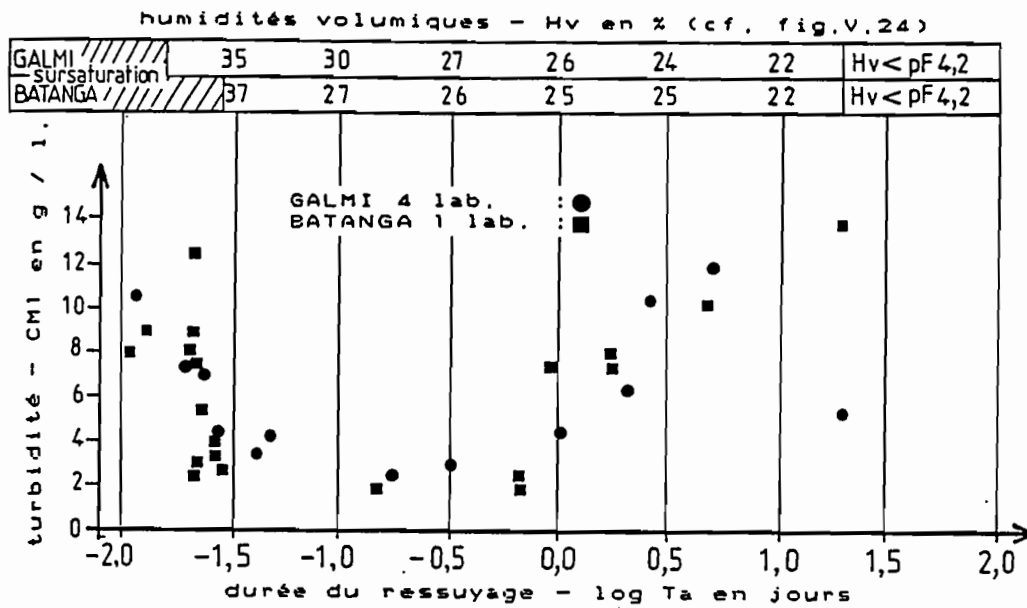


Fig. V.23.: Modification des propriétés mécaniques des sols vertiques liée à leur humidité, effet sur leur détachabilité.

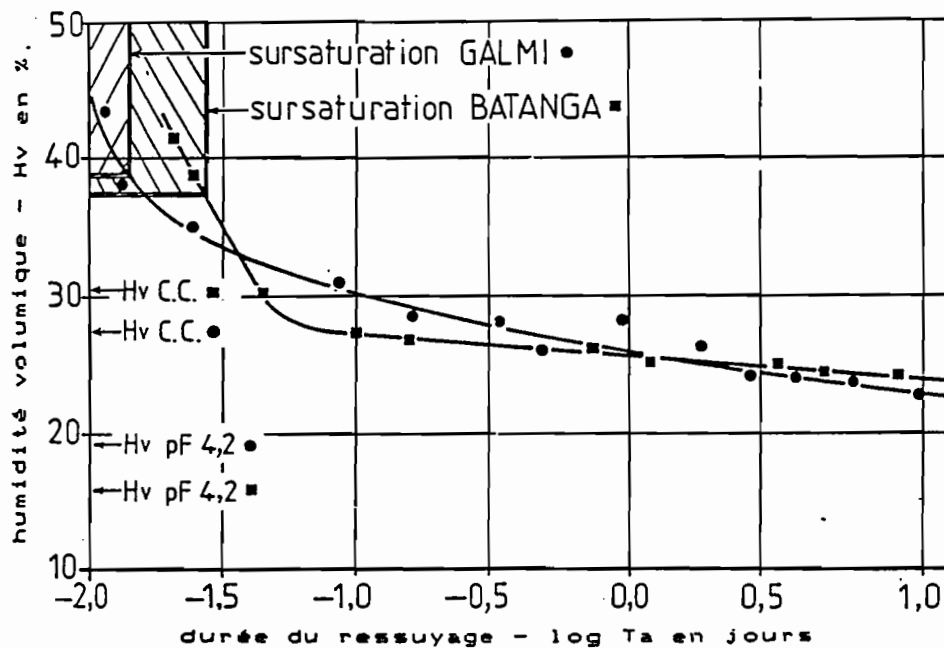


Fig. V.24.: Cinétique de ressuyage de deux sols vertiques, mise en évidence de leurs domaines de sursaturation sur les dix premiers centimètres.

texturaux (sols massifs à organisation pelliculaire superficielle par exemple) ou structuraux (cas plus rare d'agrégats résistants) et non pas au dépens de la "fonte" de microhorizons entiers.

Une modélisation de laboratoire de DE PLOEY (1971), s'appuyant sur les travaux de TERZAGHI et PECK (1967), a démontré que ces phénomènes de liquéfaction par sursaturation hydrique pouvait également s'obtenir sur sables. DE PLOEY soumet des échantillons de sables bien classés (diamètres médians de 108 à 270  $\mu$ ) aux effets du splash puis d'un écoulement de flux laminaire, et constate que ces sables, saturés en eau, gardent leur cohésion jusqu'à ce que le choc des gouttes de pluie déstabilisent les liaisons assurées par les manchettes d'eau entourant chaque grain de quartz. La liquéfaction des sables peut également être obtenue par un courant de ruissellement jouant le rôle d'une trombe aspirante vidant les cavités intergranulaires des manchettes d'eau assurant la cohésion de l'ensemble. Ces phénomènes, bien qu'identifiés sur des matériaux de texture grossière, s'apparentent à une thixotropie si l'on se réfère aux conclusions de TERZAGHI et PECK... "Very loose fills or natural deposits of saturated sand may liquefy, even if they do not possess a metastable structure, under the small provocation of mild vibration or of a few repeated shocks..".

Les sols très sableux et peu cohérents des dépôts éoliens, ou arénisés par une longue pédogénèse, des zones arides, les sols sableux colluvionnés ou ultralessivés des bas de versant, en zone humide, présentent vraisemblablement les mêmes manifestations lors des phases de sursaturation hydrique, surtout lorsqu'ils présentent en profondeur des dépôts laminaires de texture plus fine (cf. étude microstructurale de cette cinquième partie). Cependant l'augmentation de leur détachabilité uniquement due à ce processus est difficile à isoler sur une expérimentation de terrain, où l'on maîtrise mal l'homogénéité granulométrique et la régularité des contraintes amenant ces déstabilisations.

#### *XIII.4.5. Conclusion partielle*

Les effets de l'humectation antérieure des sols sur leur détachabilité interviennent en modifiant : a) la durée de la phase d'imbibition pendant laquelle l'énergie des pluies n'est pas, ou est peu, interceptée par la lame ruisselante, b) les débits de ruissellement et, c) les caractéristiques mécaniques des sols soumis au splash ou à l'abrasion du courant de ruissellement.

Les humidités volumiques ont été déterminées par différentes techniques de mesures généralement fiables surtout lorsqu'elles sont assistées par l'électronique. Le problème qui se pose n'est d'ailleurs pas tellement celui des techniques mais celui de l'interprétation de leurs domaines de variation et du droit à leur extrapolation sur des parcelles expérimentales de grande dimension. Finalement, de bien meilleures caractérisations des conditions d'humectation antérieures des sols sont obtenues en utilisant des indices d'humidité calculés à partir des données pluviométriques antérieures, même en utilisant le simple temps de ressuyage séparant deux averses consécutives. Ces informations sont, certes, peu "élégantes" scientifiquement car on ne connaît pas encore ce qu'elles contiennent, elles s'identifient donc à des "boîtes noires" avec ce que cela présuppose d'inconnu, où l'intuition et l'approximation

se substituent à la compréhension. Si elles restent plus performantes que des mesures humidimétriques ponctuelles, c'est probablement parce qu'elles intègrent des paramètres concernant les variations de la conductivité superficielle des sols là où celle-ci contrôle l'hydraulicité du profil. Les techniques de mesures humidimétriques classiques regagnent en effet un bon niveau d'information sur les sols moins sujets au compactage superficiel, donc bien souvent dans les zones guinéennes sur les sols en leur état naturel.

L'allongement de la phase d'imbibition avec l'augmentation du déficit de saturation renforce la composante splash de l'érosion globale, surtout sur les sols sableux qui y sont particulièrement sensibles. L'augmentation des débits de ruissellement au fur et à mesure que décroît le déficit de saturation intervient sur l'érosion des sols, dans les limites où il convient de considérer simultanément la granulométrie et les modulations de la capacité érosive du courant (par sa vitesse et sa charge en éléments détachés et transportés). Des différences de débit de ruissellement se manifestent assez nettement entre les pôles argileux et sableux : sur les sols **argileux**, le colmatage des porosités superficielles est surtout le résultat d'une dispersion obtenue pour des seuils critiques de l'humectation, l'énergie des averses sur les zones émergées intervenant moins nettement, et, sur les sols **sableux**, l'humectation préliminaire n'est plus le facteur dominant, leur colmatage résulte par contre des réagencements granulométriques superficiels et sub-superficiels liés à l'énergie cinétique des pluies.

La sursaturation hydrique de ces sols conduit à une liquéfaction de microhorizons pouvant augmenter considérablement mais temporairement les débits solides. Ceci a été démontré sur les sols argilo-limoneux vertiques mais pas sur les sols très sableux, où elle pourrait intervenir si l'on se réfère à des analyses qui se pratiquent sur des modèles de laboratoire.



## CHAPITRE XIV

### ANALYSE DES PARAMETRES DE SITUATION : ROLE DES COMPOSANTES DE L'INTERFACE

Les contraintes d'origine pluviale, dont les effets ont été analysés précédemment, s'exercent essentiellement à travers les quelques décimètres proches de la surface du sol considérée, non comme un plan, mais comme un volume complexe qui réagit autant par sa composition que par l'organisation de ses constituants minéraux et organiques. Ce volume est constitué de strates plus ou moins horizontales se différenciant de part et d'autre d'une cote zéro, situation médiane d'un interface de densité de matières partagées entre une "bio-atmosphère" correspondant aux couverts végétaux et une "pédo-biosphère" correspondant aux premiers horizons des sols. Cet interface contient une bonne partie de l'information permettant de comprendre comment et pourquoi se manifestent les processus de ruissellement et d'érosion.

Les réactions de l'interface seront étudiées du point de vue de sa composition dans ce chapitre XIV et du point de vue de son organisation dans le chapitre XV :

- **composition** : les études précédentes ont déjà abordé les influences de la composition granulométrique, de la charge en éléments grossiers, de la minéralogie des argiles sur la stabilité des structures et aussi celles des couverts végétaux,
- **organisation** : les agencements méso- et microstructuraux de l'interface conditionnent sa résistance hydraulique et sa détachabilité, ils se détruisent et se reconstruisent selon des modes liés aux interactions "contraintes-composition"; l'utilisation de la simulation de pluie présente l'avantage de connaître les seuils caractéristiques de ces transformations.

#### **XIV.1. Les constituants de l'interface, leur rôle sur l'érodabilité des sols**

Parmi les éléments constitutifs de l'interface, le rôle du couvert végétal a déjà été étudié dans la quatrième partie dans les paragraphes IX.1.3. pour, ce qui concerne le ruissellement, et X.3.1. et X.3.2., pour ce qui concerne l'érosion. Du fait du caractère exhaustif de cette étude, il n'est guère possible d'aller au-delà des conclusions déjà développées précédemment qui ont surtout

mis en évidence la répercussion des densités de couvert sur les processus globaux de ruissellement et d'érosion.

D'autres paramètres, concernant la structure et la dynamique de croissance des couverts végétaux naturels, ou issus de la mise en culture, n'ont, par contre, pas été abordés (sauf sur SAKASSOU) bien qu'ils interviennent à un niveau important de la conservation des sols comme l'ont montré les travaux de CHARREAU et SEGUY (1969) au Sénégal ; BIROT et GALABERT (1972) au Niger ; ARRIVETS et al. (1973) ; ROOSE (1981) au Burkina Faso ; GODEFROY et al. (1975) ; ROOSE (1974, 1976, 1981) en Côte d'Ivoire ; LAL (1977) au Nigéria ; BAILLY et al. (1974) à Madagascar ; BOULET et al. (1984) en Guyane française ; ELWELL et STOCKING (1976) ; ELWELL (1980) au Zimbabwe, pour ne citer que les études les plus en rapport avec l'évolution saisonnière des couverts.

On se limitera donc, dans les développements suivants, au rôle des constituants minéraux.

#### *XIV.1.1. La composition granulométrique des sols, ses effets sur l'érodabilité*

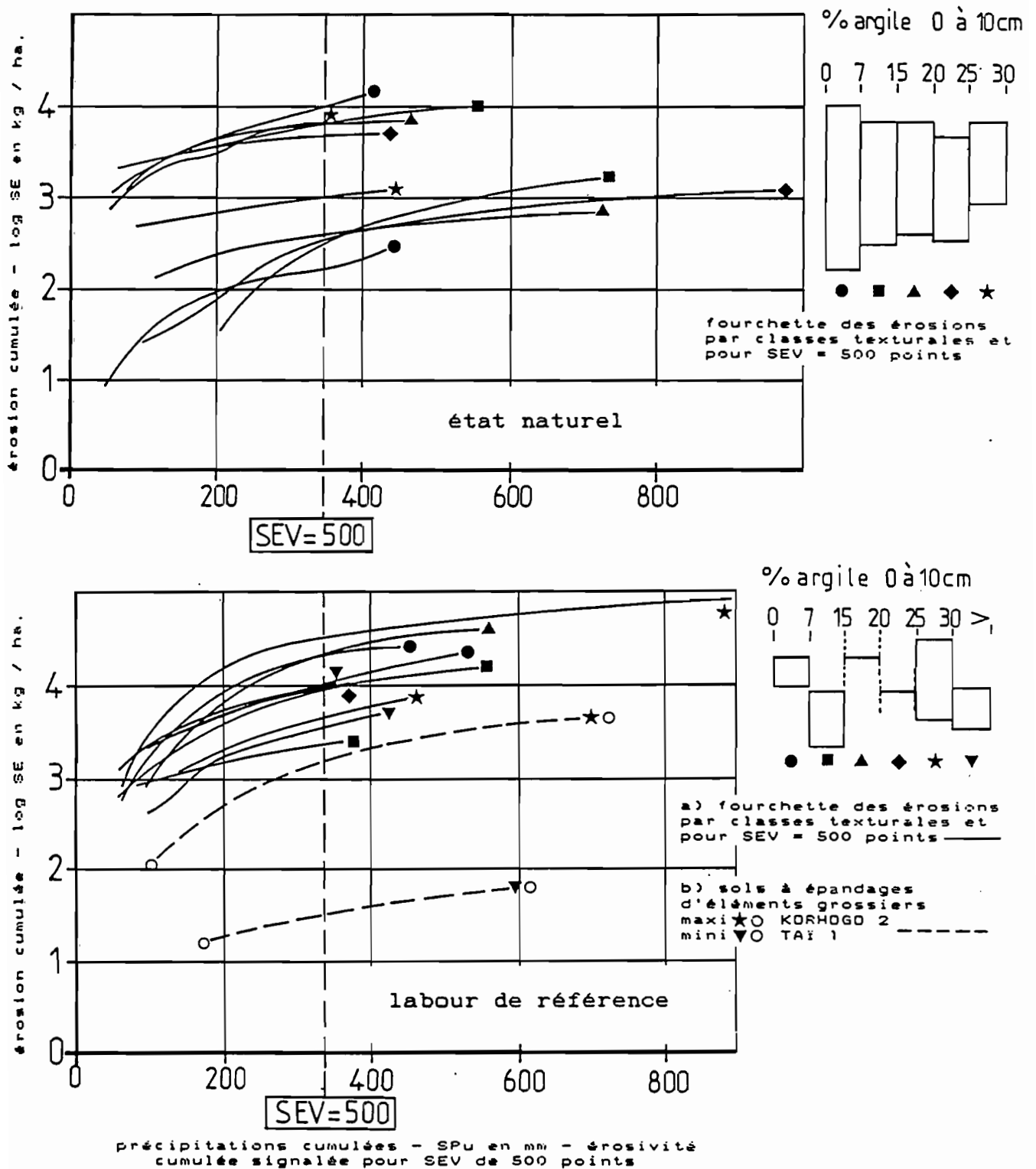
##### *XIV.1.1.1. Classes texturales et érosion*

On a d'abord essayé de dégager un classement des érodabilités à partir des 25 types de sols du transect en effectuant une pré-classification texturale en six classes : sols sableux (0 à 7 % d'argile), sablo-faiblement argileux (8 à 14 %), sablo-argileux (15 à 19, 20 à 24, 25 à 29 %) puis argilo-sableux (30 à 45 %).

Afin de mener cette comparaison sur des seuils d'énergie identiques, on a retenu les érosions globales (SE en tonnes par hectare) obtenues à l'issue de hauteurs cumulées de pluies générant une érosivité cumulée (SEV) de 500 joules/m<sup>2</sup>x mm. Il est apparu qu'il fallait extraire de cette pré-classification tous les sols présentant, en surface, un épandage d'éléments grossiers dont le rôle particulier sera analysé ultérieurement. Il reste alors 17 types de sols meubles dont on a reproduit sur la figure V.25. les graphiques illustrant les évolutions des érosions globales en fonction des hauteurs cumulées des averses (SPu).

En leur état naturel, on ne constate aucun classement significatif des érodabilités qui puisse être relié aux classes texturales précédentes ; celles-ci se recouvrent en effet totalement entre 1,0 et 4,0 tonnes/hectare ; on note seulement que les sols sableux fournissent les limites d'érosion les plus étendues entre 0,1 et 11,0 tonnes/hectare tandis que la fourchette des sols argilo-sableux est plus étroite avec des courbes enveloppes entre 0,8 et 6,0 tonnes/hectare.

Lorsqu'ils sont labourés un classement apparaît entre les pôles texturaux extrêmes, les sols sableux étant plus érodables (10,0 à 20,0 tonnes/hectare) que les sols argilo-sableux (4,0 à 10,0 tonnes/hectare) cependant que les classes texturales intermédiaires (9 à 29 % d'argile) fournissent des érosions extrêmement dispersées entre 2,0 et 30,0 tonnes/hectare.



**Fig. V.25.: Enveloppes des érosions extrêmes des sols selon leur texture, leur charge en éléments grossiers et leurs traitements.**

#### XIV.1.1.2. Fractions granulométriques et détachabilité

L'utilisation des classes texturales pour discriminer des niveaux d'érosion présente l'inconvénient d'une **appréciation trop globale** de compositions granulométriques puisqu'elles sont limitées aux proportions relatives d'argile et de sables. Les travaux de HENIN, MONNIER, COMBEAU, FEODOROFF, déjà évoqués précédemment, ont en effet démontré que la cohésion des sols était fortement corrélée à la distribution et à la combinaison des éléments de chaque fraction granulométrique ainsi qu'à leur association avec la matière organique intervenant tant par sa quantité que par sa qualité.

D'autre part, l'utilisation des érosions globales, même arrêtées à une érosivité constante ne permet pas non plus de faire la part entre les intensités du ruissellement et la détachabilité. On doit donc, dans un second temps, affiner l'analyse en considérant les relations éventuelles reliant la détachabilité spécifique des sols représentée par la turbidité moyenne pondérée par la lame ruisselée (CM2 en grammes/litre) et chaque fraction granulométrique ou la combinaison de certaines d'entr'elles.

Cette analyse a concerné les argiles granulométriques (0 à 2  $\mu$ ), les limons fins (2 à 20  $\mu$ ), les limons grossiers (20 à 50  $\mu$ ), les sables fins (50 à 200  $\mu$ ), les sables grossiers (200 à 2000  $\mu$ ), ainsi que leurs combinaisons. Trois relations significatives se sont dégagées sur les sols **dépourvus d'éléments grossiers** :

- sur les sols **sablo-argileux à argilo-sableux, labourés**, regroupant des textures comprises entre 22,9 et 31,2 % d'argile), la détachabilité décroît de façon linéaire avec l'augmentation du taux de **sables grossiers (SG)** (figure V.26),

$$CM2 = -0,067 (\% SG) + 6,95 \quad (1)$$

avec  $n = 13$  et  $r = -0,945$

L'effectif des couples : CM2 (% SG) est limité parce que les sols argilo-sableux sont concrétionnés dans près de 50 % des cas.

- sur les sols **sableux à sablo-faiblement argileux, labourés** (3,5 à 14,5 % d'argile), la détachabilité décroît linéairement avec l'augmentation du taux d'argile (A) (figure V.27),

$$CM2 = -0,920 (\% A) + 11,82 \quad (2)$$

avec  $n = 13$  et  $r = -0,922$

- sur les sols **sablo-argileux à argilo-sableux, en leur état naturel** (17,5 à 26,5 % d'argile) la détachabilité croît de façon linéaire avec le taux de **limon fin + limon grossier (LF + LG)** (figure V.28),

$$CM2 = 0,020 (\% LF + LG) + 1,45 \quad (3)$$

avec  $n = 9$  et  $r = 0,640$

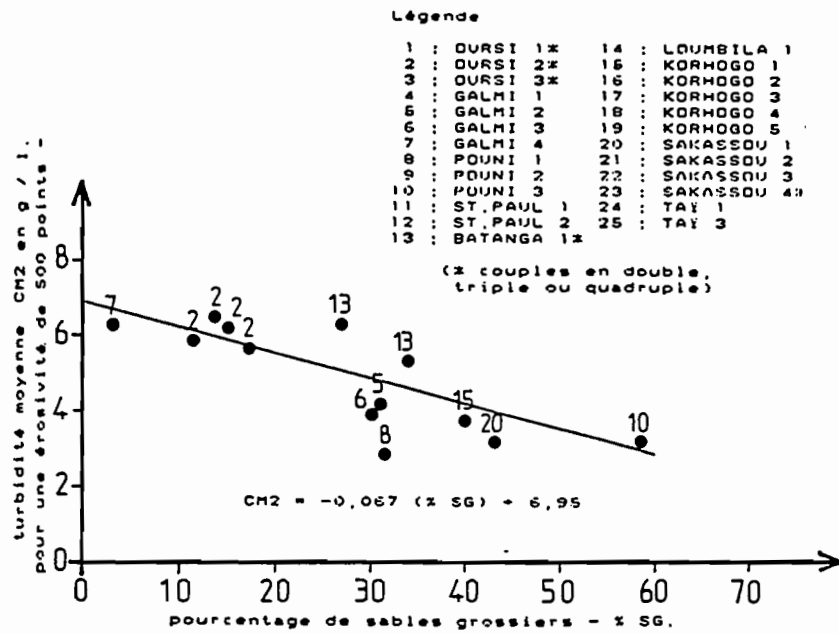


Fig. V.26.: Relation liant la détachabilité des sols argilo-sableux "labourés" au taux de sables grossiers.

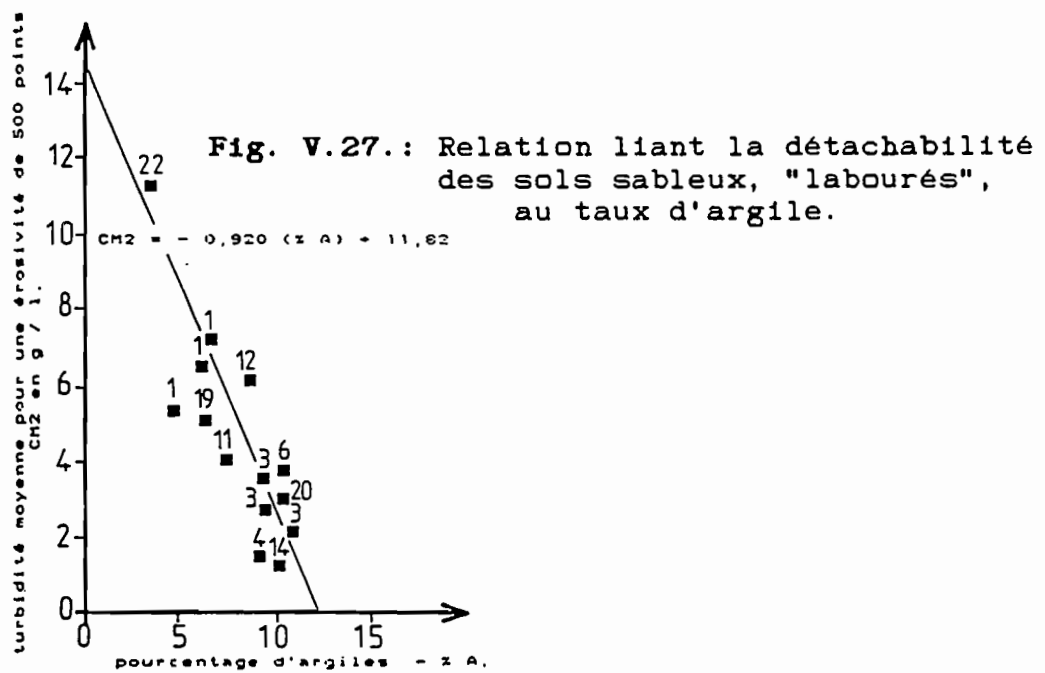


Fig. V.27.: Relation liant la détachabilité des sols sableux, "labourés", au taux d'argile.

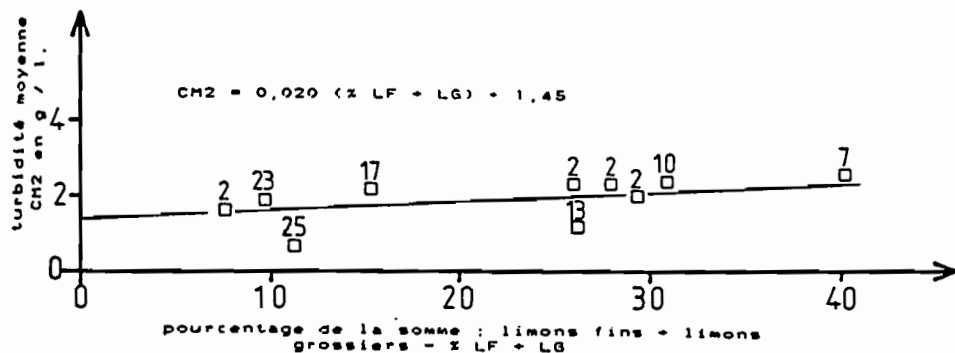


Fig. V.28.: Relation liant la détachabilité des sols argilo-sableux, "naturels" à leur taux de limons.

c'est également le cas des sols labourés de même classe texturale mais la corrélation est alors moins étroite.

Comme les relations (1) et (2) ne sont significatives que sur les sols labourés, cela veut dire que les variations de détachabilité sont liées à la manifestation de processus intervenant sur les éléments structurés du sol, qu'il s'agisse d'agrégats naturels ou de mottes de labour. Dans le premier cas (relation 1), l'enrichissement en sables grossiers contribue à diminuer les proportions de porosités de faible diamètre donc à limiter les processus d'éclatement des agrégats. Dans le second cas (relation 2), l'enrichissement en argile contribue à atténuer les effets de l'énergie des averses, plus précisément ceux des impacts des gouttes provoquant le phénomène de rejaillissement des éléments détachés particulièrement important sur les sols sableux comme l'ont démontré POESEN et SAVAT (1981) sur des échantillons reconstitués en laboratoire et également VALENTIN (1978 et 1985) sur des sols alluviaux de la zone sub-désertique nigérienne.

En ce qui concerne la relation (3), on ne peut plus invoquer une action destructrice au dépens d'agrégats puisqu'il s'agit de sols destructurés et lissés, aussi l'augmentation de la détachabilité liée aux taux des limons doit-elle plutôt être recherchée dans une sélectivité de l'érosion, ce qui sera analysé ultérieurement.

Les relations précédentes ne suffisent cependant pas à expliquer toutes les dispersions des érodabilités ; deux autres paramètres interviennent également à un niveau élevé dans la détachabilité, il s'agit :

- des interactions entre la texture du sol et sa pente topographique,
- de l'épandage superficiel en éléments grossiers,

#### *XIV.1.2. Interactions entre la texture et la pente topographique*

La détachabilité de sols de différentes classes texturales a été reliée aux modifications des pentes topographiques. Pour des raisons développées précédemment (chapitre X), les couples de variables analysables (CM2 et % pente) sont assez limités parce que, dans les domaines pédoclimatiques septentrionaux, prédominent des sols sableux sur interfluvés peu pentus tandis que des sols argilo-sableux sur versants sensiblement plus inclinés caractérisent les domaines pédoclimatiques méridionaux. A cette limitation s'ajoute la difficulté d'isoler des sols meubles sans éléments grossiers dont les réactions sont très spécifiques et azonales. Malgré ces restrictions, l'effet de la pente a été isolé sur les sols sableux labourés ainsi que sur les sols de toutes textures, en leur état naturel.

##### *XVI.1.2.1. Influence de la pente topographique sur les sols sableux, meubles, labourés à plat*

La détachabilité des sols sableux, sans éléments grossiers, labourés croît avec la pente topographique, la relation est hautement significative sur 14 sols de texture sableuse à sablo-faiblement argileuse (2,7 à 14,5 % d'ar-

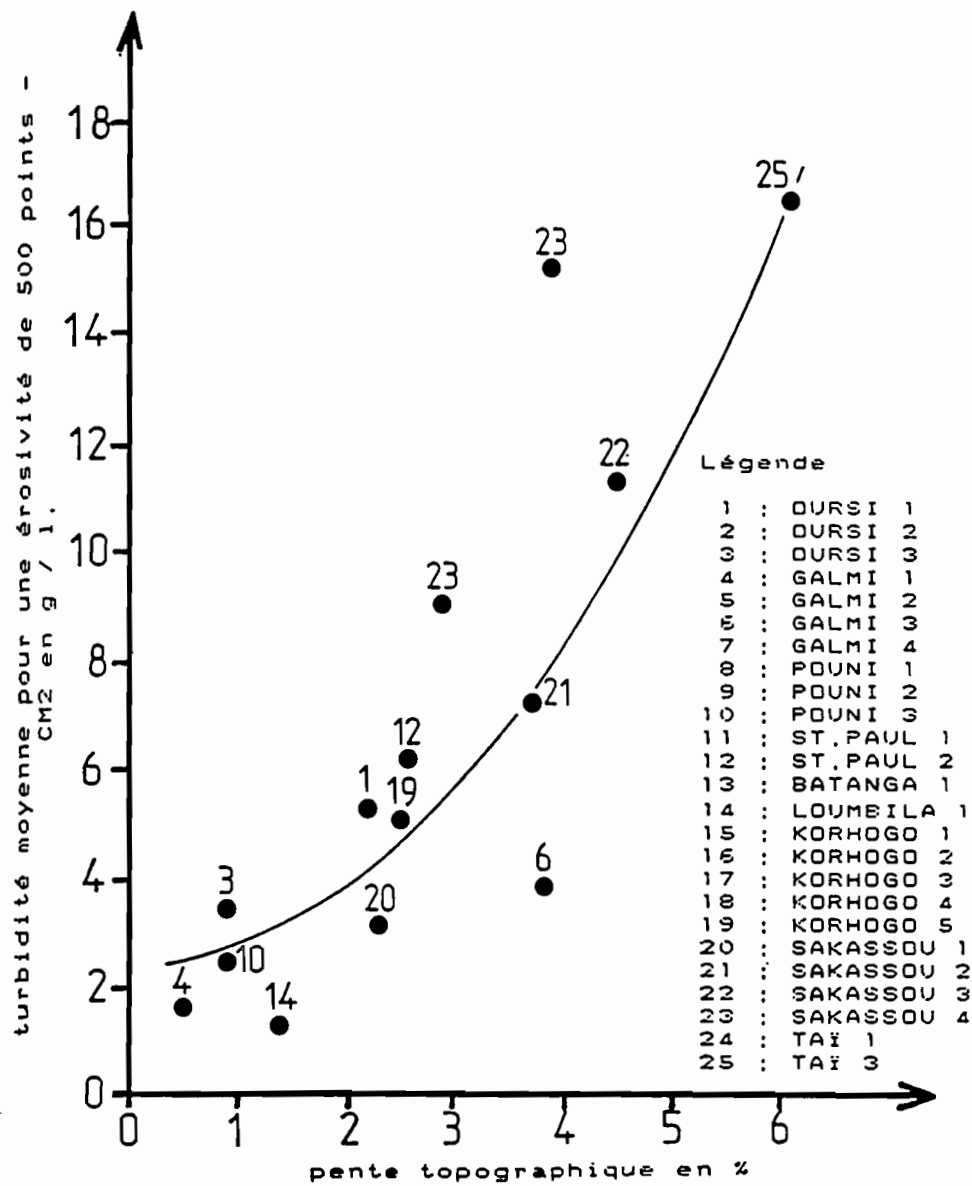


Fig. V.29.: Influence de la pente topographique sur la détachabilité des sols sableux, "labourés", sans éléments grossiers.

gile), depuis le domaine sahélien (OURSI, GALMI), jusqu'au domaine guinéen forestier (TAÏ) et pour des pentes variant seulement entre 0,9 et 6,5 % (figure V.29.) :

$$CM2 = 2,070 \cdot \exp. 0,333 \cdot \text{pente } \%$$

avec  $n = 14$  et  $r = 0,834$

On sait déjà que l'augmentation de la pente accroît la vitesse du courant de ruissellement et diminue la hauteur de la lame ruisselante (assimilable au paramètre  $D_m$ ), l'augmentation de la détachabilité s'explique alors :

- en ce qui concerne la **vitesse**, par l'augmentation de l'abrasion et de la capacité de transport pour peu que la capacité érosive réelle puisse approcher la capacité érosive potentielle (paragraphe XIII.3.),

- en ce qui concerne la **hauteur de  $D_m$** , puisque l'effet négatif de la longueur de versant sur  $D_m$  est fixé (toutes les parcelles ont la même longueur), par la seule diminution de  $D_m$  provoquant une diminution de l'interception de l'énergie des pluies donc une reprise du splash (paragraphe XIII.2.).

Pour un seuil d'inclinaison de pente relativement bas (voisin de 3,0 %), ces deux résultantes conjuguent leurs effets, ce que l'on peut d'ailleurs suivre sur l'évolution des turbidigrammes où l'on détecte le passage d'une érosion en nappe à une érosion concentrée permanente et ravinante accélérant, dans ces effets secondaires, le splash sur les parties de nouveau émergées des parcelles (SAKASSOU p. ex.).

#### *XIV.1.2.2. Influence de la pente topographique sur les sols meubles sablo-argileux à argilo-sableux, labourés à plat*

Cinquante pour cent des sols de cette catégorie sont occupés par des épandages gravillonnaires ce qui ramène à 8 l'effectif des sols meubles où la relation précédente peut être utilement étudiée ; dans ces conditions, il n'a pas été possible de dégager de relation significative et ce, d'autant plus que les pentes ne varient plus que dans des limites très faibles (0,5 à 4,0 %). On note simplement que les deux variables  $CM2$  et pente % semblent **indépendantes** dans cette fourchette, ce que LAL (1984) a constaté sur un effectif de données plus important provenant de sols ferrugineux peu lessivés du Nigéria avec des pentes oscillant entre 0,5 et 5,0 %.

#### *XIV.1.2.3. Influence de la pente topographique sur des sols de différentes classes texturales, en leur état naturel*

La même analyse menée sur différentes classes texturales des sols en leur état naturel de fin de saison sèche où prédominent les surfaces lissées et très cohérentes donne les résultats suivants:

- sur les **sols sableux**, les variables sont indépendantes,



- sur les sols **sablo-argileux à argilo-sableux**, on détecte une diminution de la détachabilité avec l'augmentation de la pente, mais les effectifs sont trop faibles pour pouvoir formuler la relation,

- sur les sols à **épanchages d'éléments grossiers**, la détachabilité reste constamment inférieure à 0,7 grammes/litre pour des pentes variant de 2,5 à 20 %, cette dernière valeur représente donc le **minimum en deçà duquel l'influence protectrice des éléments grossiers reste prépondérante**.

Il est enfin étonnant de constater que si la même analyse porte cette fois sur **l'ensemble des sols de différentes textures et charges grossières**, donc sur des situations des plus disparates, il réapparaît une relation significative entre pente et détachabilité, celle-ci décroît en effet de façon exponentielle avec la pente :

$$CM2 = 1,505 \cdot \exp. -0,119 \cdot \text{pente } \%$$

avec  $n = 26$  et  $r = -0,551$

Cette formule est évidemment inexploitable telle quelle et l'on se rend alors compte de l'inconvénient d'une utilisation sans discernement des "indices topographiques" tels que ceux établis par WISCHMEIER et SMITH (1960) pour des sols présentant des réactions différentes selon leurs caractéristiques.

#### *XIV.1.3. Influence des épanchages superficiels d'éléments grossiers*

L'influence des éléments grossiers sur l'hydrodynamique et l'érodabilité des sols a déjà été signalée à de nombreuses reprises dans l'étude des comportements globaux de la **quatrième partie** ; on y a remarqué qu'il s'agissait surtout de sols ruisselant peu et s'érodant peu et que la présence de ces épanchages constituait un facteur important de rapprochements comportementaux de sols morphologiquement et génétiquement très différents.

Dans environ **75 % des cas**, ces éléments sont des **concrétions sesquioxidiques** relictuelles de pédogénèses antérieures, elles sont émoussées ou très arrondies, leurs diamètres oscillent entre 7 et 25 mm avec une médiane avoisinant 10 mm. Leur accumulation en surface du sol résulte d'une érosion sélective agissant sur des horizons sous-jacents gravillonnaires d'où s'est peu à peu éliminée la terre fine. Dans certains cas, cette accumulation est renforcée par des éboulements et des fragmentations d'horizons indurés couronnant les sommets d'interfluve, leur granulométrie est alors plus hétérogène.

Compte tenu de la morphogénèse des paysages, on découvre ces épanchages essentiellement sur les parties amont des versants ceinturant des sommets tabulaires cuirassés dans les zones sahélo-soudaniennes et soudano-guinéennes (Niger, Burkina Faso et nord Côte d'Ivoire), ou en sommet des formes convexo-concaves les plus éloignées des niveaux de base locaux dans la zone guinéenne forestière.

Leur rôle dans le contrôle de l'hydrodynamique et dans celui de la détachabilité est **primordial** en Afrique de l'Ouest où ces sols constituent

souvent, pour des charges grossières n'excédant pas 50 %, des couvertures pédologiques de bien meilleures potentialités agricoles que les sols meubles voisins.

Dans le transect étudié, trois sols (OURSI 3, SAINT PAUL 1, SAKASSOU 2), présentent, quant à eux, des épandages d'éléments siliceux : il s'agit soit de graviers de quartz de 3 à 7 mm de diamètre, issus de l'altération et de la désagrégation de granite à gros grains sur OURSI 3, de graviers et cailloux de quartzite émoussés, de 10 à 50 mm de diamètre sur SAINT PAUL 1, de graviers et cailloux de quartz filonien ferruginisés sur SAKASSOU 2 où ils proviennent de l'affleurement discontinu de la stone-line.

Les taux de recouvrement ont été mesurés en quadrillant les parcelles avec des fils tendus et en déterminant, au niveau de chaque intersection (280 observations sur 50 m<sup>2</sup>), la proportion de surface couverte par comparaison avec une grille de densité de recouvrement (cf. paragraphe VII.3. de la troisième partie).

Cette charge superficielle en éléments grossiers intervient de différentes façons :

- en interceptant l'énergie cinétique des pluies,
- en augmentant la rugosité du sol s'opposant à l'accélération de la vitesse du courant de ruissellement,
- mais aussi en modifiant, pour des recouvrements faibles, la nature du flux qui, de laminaire, devient turbulent à l'aval de chaque obstacle.

Les deux derniers effets ont été étudiés en laboratoire sur des échantillons de sols reconstitués par DE PLOEY et al. (1976). Les éléments grossiers contribuent effectivement à dissiper l'énergie des pluies, mais les effets secondaires d'un recouvrement de faible densité peuvent annihiler les effets protecteurs, d'une part, en augmentant la vitesse du courant sur les parties non couvertes (canalisation dans les seuils plus étroits), d'autre part, en générant une cavitation du flux en aval des obstacles si la vitesse du courant est suffisante (action sur la pente) : "... Firstly it may be mentioned that pebbles protect the subsoil underneath them from direct splash erosion ; but secondary splash results from the impact of raindrops on the debris and this together with limited run off on the blocks and pebbles increase the volume, the turbulence and the erosive power of the flow on the uncovered patches... Above a critical value of the Reynolds number "R<sub>c</sub>" however, wash can be strongly activated by vortex erosion at the upslope of the pebbles..."

Cette turbulence agit cependant différemment en fonction de la cohésion des matériaux étudiés ; pour des pentes inférieures ou égales à 17 %, "R<sub>c</sub>" est voisin de 50 sur des sols sableux fins mais il doit atteindre 3000 sur des sols limoneux pour produire une érosion concentrée).

L'intensité de la dissipation de l'énergie des pluies est proportionnelle au taux de recouvrement mais elle dépend également de la position exacte de l'élément grossier qui peut être, soit posé sur le sol, soit enfoncé dans sa surface (POESEN, 1985 ; VALENTIN, 1982 ; COLLINET et VALENTIN, 1984). Lorsque l'élément est simplement posé, la projection de sa section sur la surface du

sol détermine une zone protégée où les porosités superficielles, non soumises à l'action colmatante des pluies, restent ouvertes ; dans le second cas, la réduction de la détachabilité est la conséquence de la seule diminution de la superficie dégradable de la parcelle.

En fait, sur le terrain, et pour des charges excédant 50 %, il arrive souvent que les recouvrements se répartissent de façon hétérogène en constituant localement des recouvrements à couches multiples ; l'on se retrouve alors placé dans le premier cas avec une porosité qui reste ouverte dans les interstices d'éléments "enchassés" dans la surface sur toute l'étendue des épandages multicouches (figure V.30.).

Le rôle des épandages d'éléments grossiers sur la détachabilité a déjà été mise en évidence dans les travaux de BERGSMA (1983) ; COLLINET et LAFFORGUE (1975) ; COLLINET et LAFFORGUE (1978) ; COLLINET et VALENTIN (1979, 1984) ; COLLINET (1984) ; DUMAS (1965) ; MEYER et al. (1972) ; ROOSE (1974) ; VALENTIN (1982) ; la difficulté de leur prise en compte réside dans l'obligation de comparer des sols et des situations topographiques rigoureusement identiques. On s'est alors orienté sur la comparaison entre les recouvrements de sols en leur état naturel et ceux des mêmes sols labourés, remaniement amenant une diminution sensible des concentrations graveleuses et caillouteuses superficielles. On exprime alors les détachabilités correspondantes en fonction des différences de taux de recouvrement. Le tableau LXXVII regroupe ces deux informations se rapportant à 13 couples de parcelles.

=====

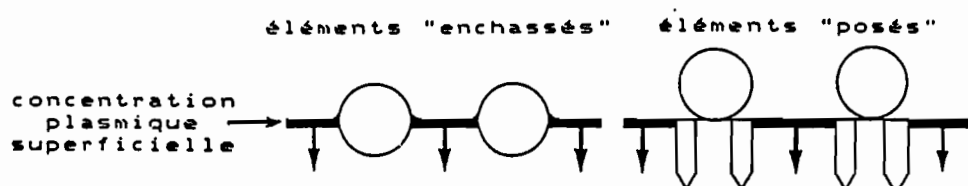
**Tableau LXXVII**  
Relation entre la détachabilité  
et le taux de recouvrement des sols en éléments grossiers

SITES	CM2NAT/CM2LAB	EGNAT-EGLAB
1	2	3
OURSI 1 *	0,35 *	9 *
GALMI 1	0,84	3
POUNI 1	0,12	35
POUNI 2	0,77	10
SAINT PAUL 1	0,29	10
LOUMBILA 1	0,64	3
KORHOGO 2	0,21	17
KORHOGO 3	0,45	8
KORHOGO 4	0,61	5
SAKASSOU 2	0,20	18
TAÏ 1	0,10	30

#### Légende

\* = valeurs moyennes sur les trois couples de parcelles soumises à des averses de 30, 60 et 120 mm/h,  
colonne 1 = sites expérimentaux,

## a) Epandage monocouche (d'après POESEN, 1985).



## b) Epandage multicouche.

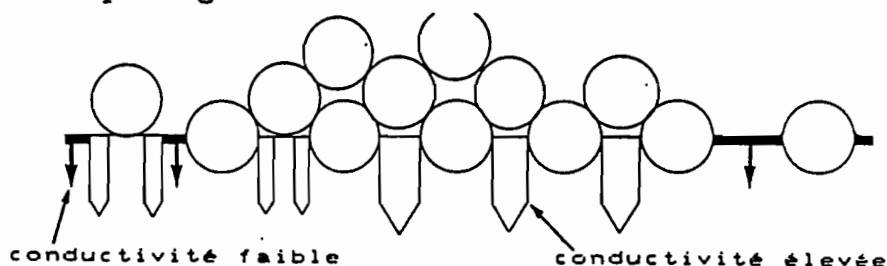


Fig. V.30.: Types d'épandages d'éléments grossiers et infiltrabilité résultante des surfaces.

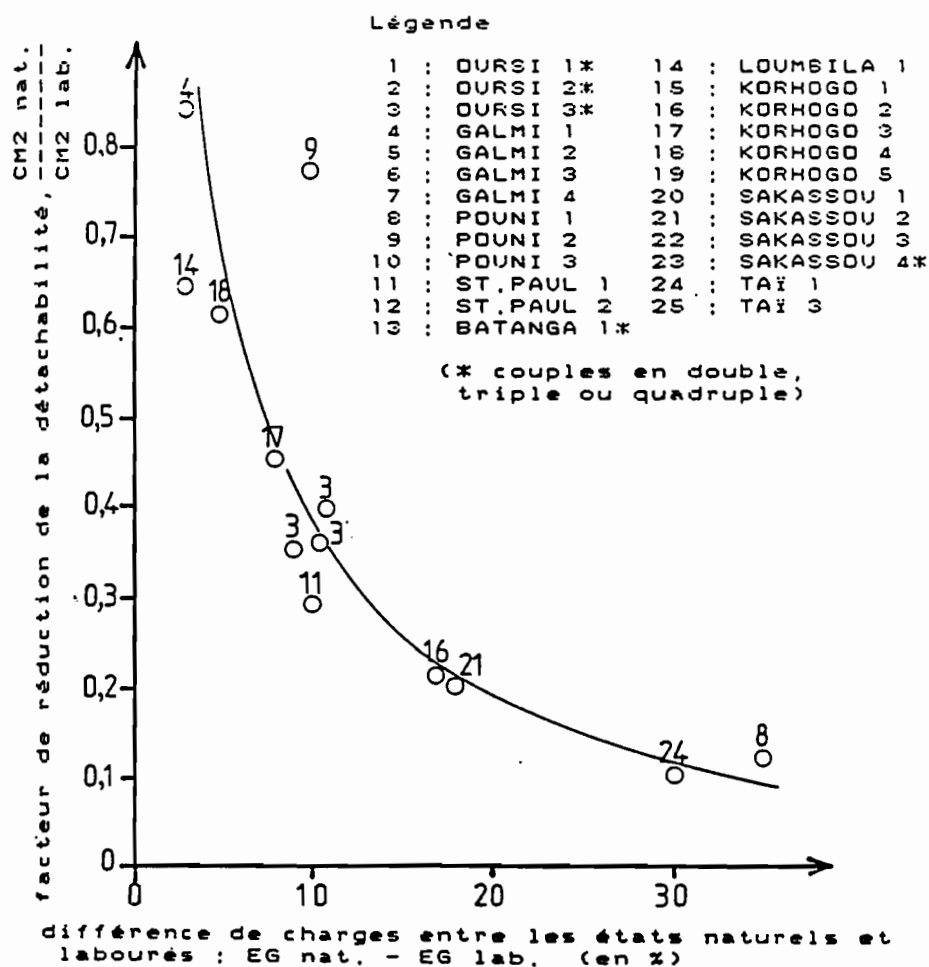


Fig. V.31.: Influence de la charge superficielle en éléments grossiers

colonne 2 : CM2NAT / CM2LAB = rapport entre les turbidités moyennes pondérées pour des érosivités d'averses arrêtées à 500 joules / m<sup>2</sup> x mm sur les parcelles naturelles et labourées,

colonne 3 : EGNAT - EGLAB = différence de taux de recouvrement entre les parcelles naturelles et labourées (en %).

=====

Le rapport des détachabilités (CM2NAT / CM2LAB) décroît de façon exponentielle avec l'augmentation du taux de recouvrement, la relation est hautement significative pour un effectif relativement peu important (figure V.31) :

$$\frac{\text{CM2 NAT}}{\text{CM2 LAB}} = 0,782 \cdot \exp. - 0,063 \cdot \text{EGNAT} - \text{EGLAB} \%$$

avec n = 13 et r = -0,914

Cette exponentielle inverse est proche de celle calculée par VALENTIN pour 17 sols dont les effets des recouvrements ont été étudiés sur des parcelles de 1 m<sup>2</sup> de superficie depuis le centre Niger jusqu'au sud-ouest ivoirien (COLLINET et VALENTIN, 1984) :

$$C = 0,730 \cdot \exp. - 0,060 \cdot G \%$$

avec n = 17 et r = -0,980

C étant le coefficient de réduction de l'érosion et G le pourcentage de recouvrement en éléments grossiers dans les limites de 5 à 79 %.

On remarquera que la variable CM2 NAT / CM2 LAB peut être assimilée à l'indice C<sub>sim</sub> du paragraphe XI.2.3. quantifiant l'action protectrice des couverts végétaux dans les essais d'utilisation de la formule de prévision des pertes en terre de WISCHMEIER et SMITH (1960).

#### ***XIV.2. Sélectivité de l'érosion hydrique***

Les différentes modalités de l'érosion s'exerçant sur des classes texturales variées sont à l'origine de variations importantes et significatives des classes granulométriques des sédiments exportés expliquant une accumulation relative d'autres classes granulométriques sur le sol en place. La simulation de pluies permet de suivre les variations relatives de ces classes dans les sédiments et de les relier aux variations de contraintes pluviométriques.

La détermination des caractéristiques granulométriques des sédiments s'opère sur des échantillons provenant du regroupement des charges solides obtenues tout au long des averses. Cette détermination a été faite sur 35 parcelles des sites de GALMI, KORHOGO, SAKASSOU et TAÏ. On étudiera dans un premier temps les évolutions des médianes granulométriques des sédiments et ensuite leur tri en prenant pour référence le classement granulométrique du sol en place.

#### *XIV.2.1. Evolution des médianes granulométriques des sédiments avec le cumul des averses*

Les courbes cumulatives des pourcentages granulométriques des sédiments fournissent, entr'autres informations, les médianes granulométriques permettant d'apprécier l'évolution de la finesse des matériaux exportés ( $\phi_{50}$ ). Les valeurs prises successivement par  $\phi_{50}$  sont ensuite exprimées en fonction des érosivités cumulées SEV (figures V.32 et 33).

Sur 75 % des parcelles se manifestent trois types d'évolution :

- 1er type :  $\phi_{50}$  croît jusqu'à une valeur maximale correspondant à une érosivité cumulée de 400 à 600 points puis décroît ensuite ( cf; exemples de KORHOGO 1 naturelle ou labourée, KORHOGO 2 et SAKASSOU 2 naturelles),

- 2ème type :  $\phi_{50}$  augmente rapidement jusqu'à une valeur constante (cf. exemples de GALMI 1 naturelle et labourée, SAKASSOU 41 naturelle),

- 3ème type :  $\phi_{50}$  est fixé définitivement dès la première averse, donc indépendamment de leur cumul et des énergies qu'elles libèrent (cf. exemples de GALMI 3 naturelle et labourée, GALMI 4 labourée, KORHOGO 5 labourée, SAKASSOU 41 et 42 labourées).

Les valeurs prises par  $\phi_{50}$  dépendent du classement textural des surfaces. Ceci explique les différences observées entre les situations "naturelle" et "labourée" car le labour ramène en surface des matériaux de texture généralement plus fine (GALMI 1 p. ex.). Les différentes évolutions peuvent recevoir l'une ou l'autre des interprétations suivantes :

- les variations des médianes granulométriques résultent de modifications de la **vitesse** des courants de ruissellement abrasant des matériaux de granulométrie verticalement homogène,

- elles résultent de **modifications granulométriques** des microhorizons successivement érodés sans qu'il y ait modification des vitesses de courant.

Les évolutions de types (1) et (2) sont représentatives de sols où prédomine une érosion en nappe (cf. tableau LXXII en annexe) et surtout de ceux où la charge reste constante quelle que soit l'intensité Rx. Selon la première hypothèse, il faudrait considérer que le passage d'une charge de nature plus fine à une charge de même masse, mais de nature plus grossière, correspondrait à une diminution de la vitesse d'abrasion du courant, donc de débit Rx sur des parcelles essentiellement planes et où ce courant ne serait pas canalisé. Ceci n'est **pas conforme** aux résultats expérimentaux puisque Rx augmente tandis que diminue la conductivité hydraulique, liée au colmatage des porosités superficielles dans les domaines septentrionaux, ou à la diminution du déficit de saturation dans les sols des domaines méridionaux.

Les évolutions de types (1) et (2) sont donc la conséquence de **modifications granulométriques** du matériau exportable du sol en place où la capacité réelle de transport, régulée par la charge, est inférieure à la capacité potentielle pour une évolution de type 1, ou encore, où la capacité réelle de transport devient peu différente de la capacité potentielle pour le type 2.

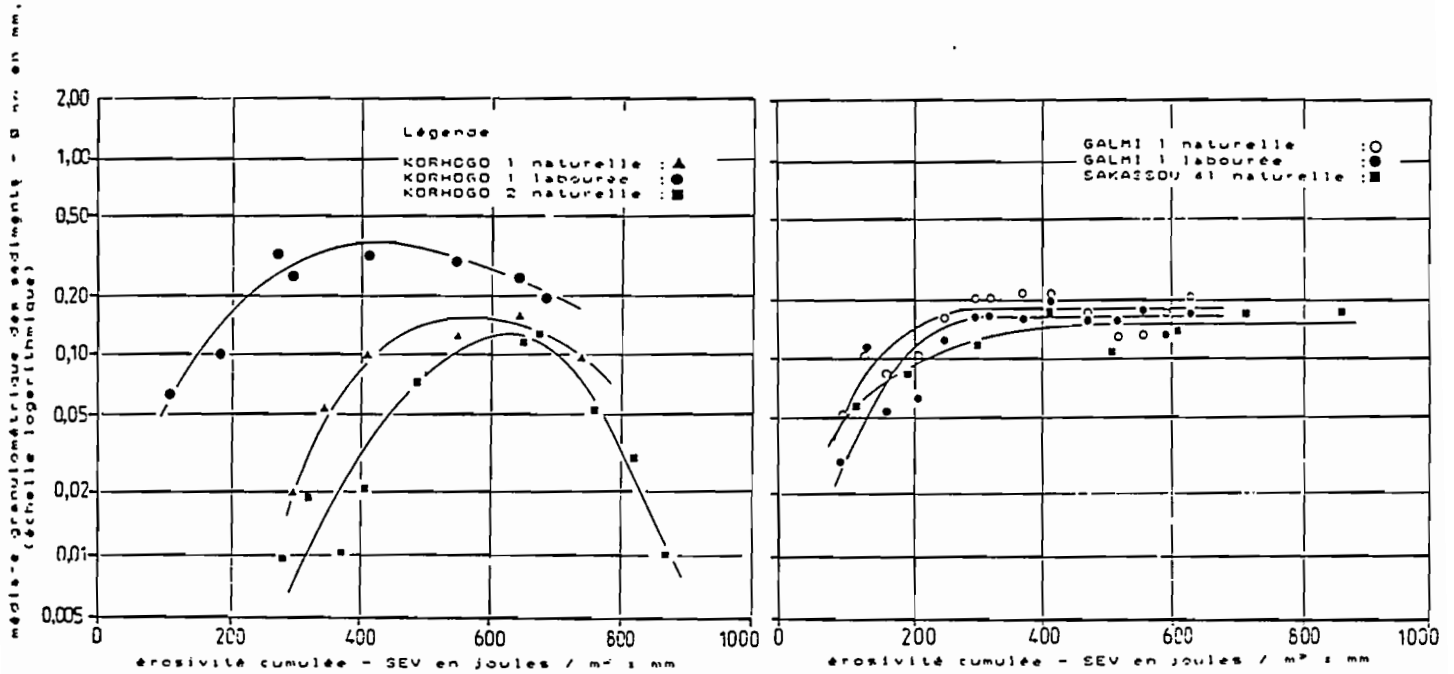


Fig. V.32.: Evolution de la granulométrie  
des sédiments avec le cumul des averses  
- 1er. type d'évolution - - 2ème. type d'évolution -

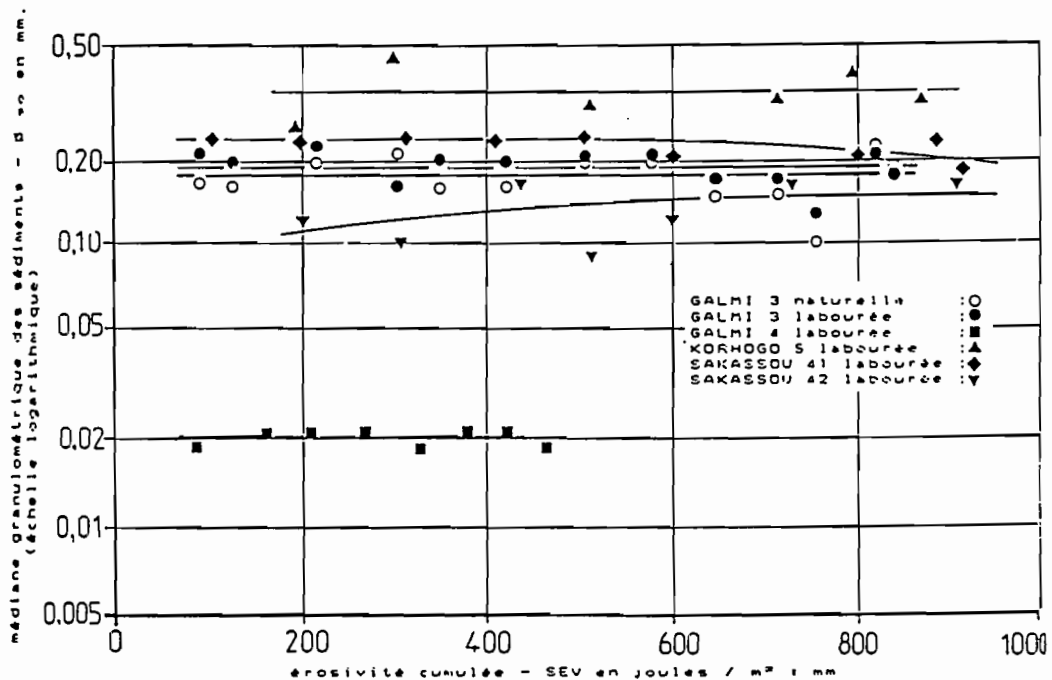


Fig. V.33.: Evolution de la granulométrie  
des sédiments avec le cumul des averses  
- 3ème. type d'évolution -

L'instauration immédiate d'un  $\phi_{sc}$  maximum et constant tout au long des averses (type 3) correspond, quant à elle, aux parcelles fournissant des **érosions concentrées permanentes**, soit sur les sols sableux avec incision de la parcelle (SAKASSOU), soit sur les sols argilo-limoneux vertiques sujets à la liquéfaction des strates superficielles (GALMI 4 p. ex.). Les variations de classement, qui pourraient résulter de modifications des capacités érosives, elles-mêmes liées aux différenciations texturales verticales, sont alors rapidement occultées par la prédominance du rôle d'une capacité de transport régulée par les fortes charges caractérisant ce mode d'érosion.

#### *XIV.2.2 Le tri des fractions granulométriques par l'érosion hydrique*

Le tri des fractions granulométriques s'opérant entre les sédiments et le sol en place est représenté par le rapport des pourcentages des classes granulométriques des sédiments et des sols en place. Ce coefficient "TRI" se calcule de la façon suivante :

$$TRI = \frac{\% \text{ d'une classe granulométrique du sédiment}}{\% \text{ d'une classe granulométrique du sol en place}}$$

son évolution peut être suivie, comme précédemment, en fonction de l'érosivité cumulée SEV ; pour simplifier l'analyse, on a retenu les 7 classes suivantes :

- argiles granulométriques ( $< 2 \mu m$ ),
- limons fins (2 à 20  $\mu m$ ),
- limons grossiers (20 à 50  $\mu m$ ),
- sables fins (50 à 200  $\mu m$ ),
- sables grossiers (200 à 2000  $\mu m$ ).

Les graphiques représentant ces évolutions sur des exemples caractéristiques (figures V.34.a,b,c et d), font apparaître des variations de comportement qui sont liées, d'une part, aux situations expérimentales (granulométrie du sol en place, charge en éléments grossiers, traitement de la parcelle et pente), d'autre part, aux contraintes d'origine pluviales. Ces variations, résumées sur la tableau LXXVII (en annexe), suscitent les commentaires préliminaires suivants :

- le classement des sédiments tend à rejoindre celui du sol en place (TRI voisin de 1,0) avec le cumul des averses, cette évolution est plus rapide sur les textures fines (GALMI 4 p. ex.) que sur les textures plus grossières (SAKASSOU 41 p. ex.),
- cette "remise à niveau" est ralentie par toutes causes susceptibles de limiter la vitesse du courant de ruissellement (rugosité liée aux éléments grossiers ou diminution de la pente),
- le coefficient TRI évolue plus ou moins linéairement avec SEV pour toutes classes sauf pour les limons fins où la corrélation est moins bonne,
- à l'exception des sables grossiers, l'enrichissement des sédiments en différentes fractions granulométriques est inversement proportionnel aux teneurs du sol en place en ces mêmes fractions.

Cette analyse du tri granulométrique se précise ensuite en considérant les évolutions de chacune des fractions.



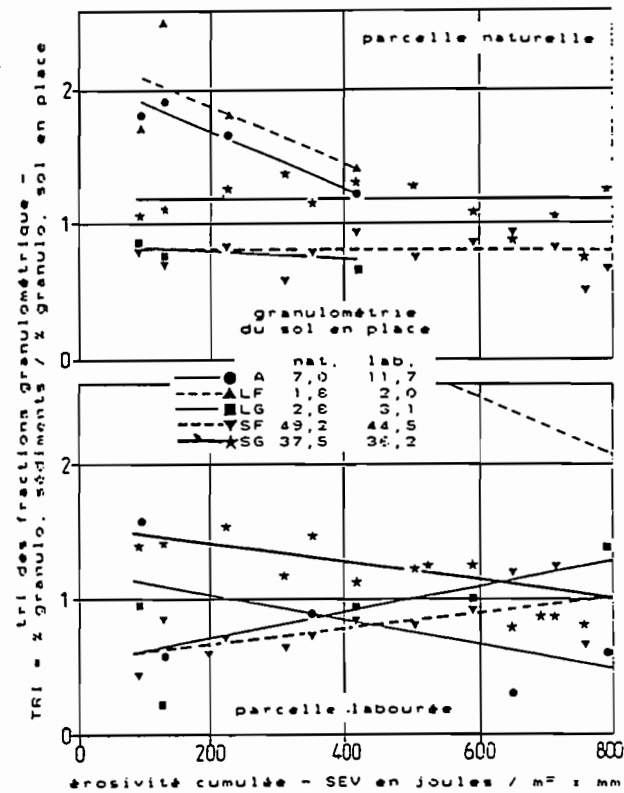


Fig. V.34a.: Sélectivité granulométrique de l'érosion hydrique sur GALMI 3

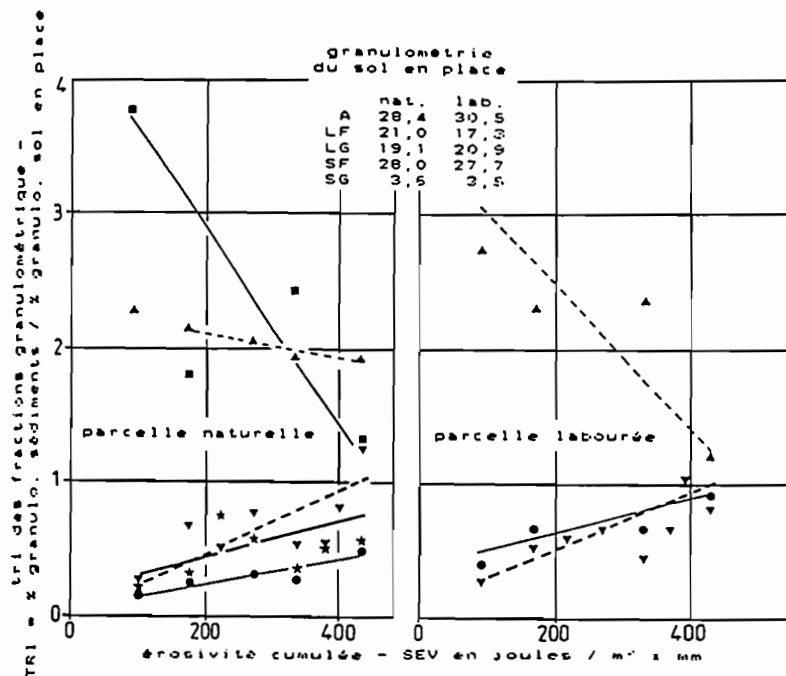


Fig. V.34a.: Sélectivité granulométrique de l'érosion hydrique sur GALMI 4

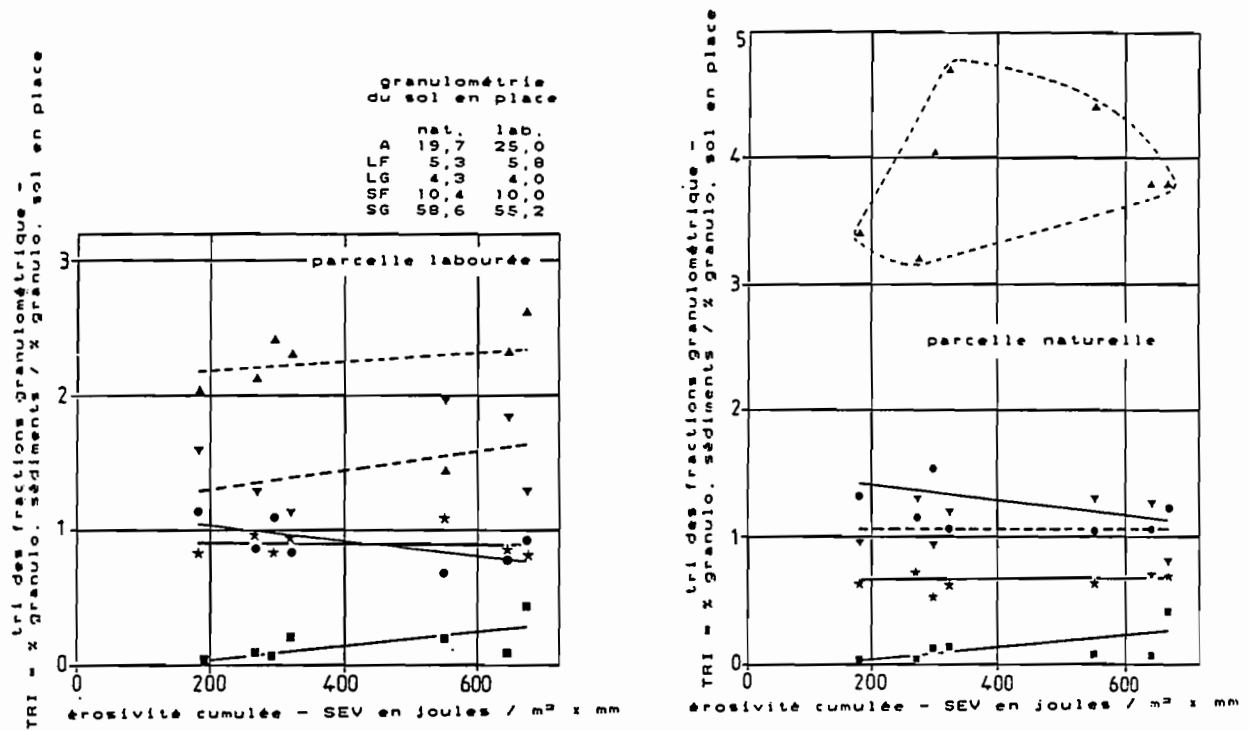


Fig. V.34b.: Sélectivité granulométrique de l'érosion hydrique sur KORHOGO 1

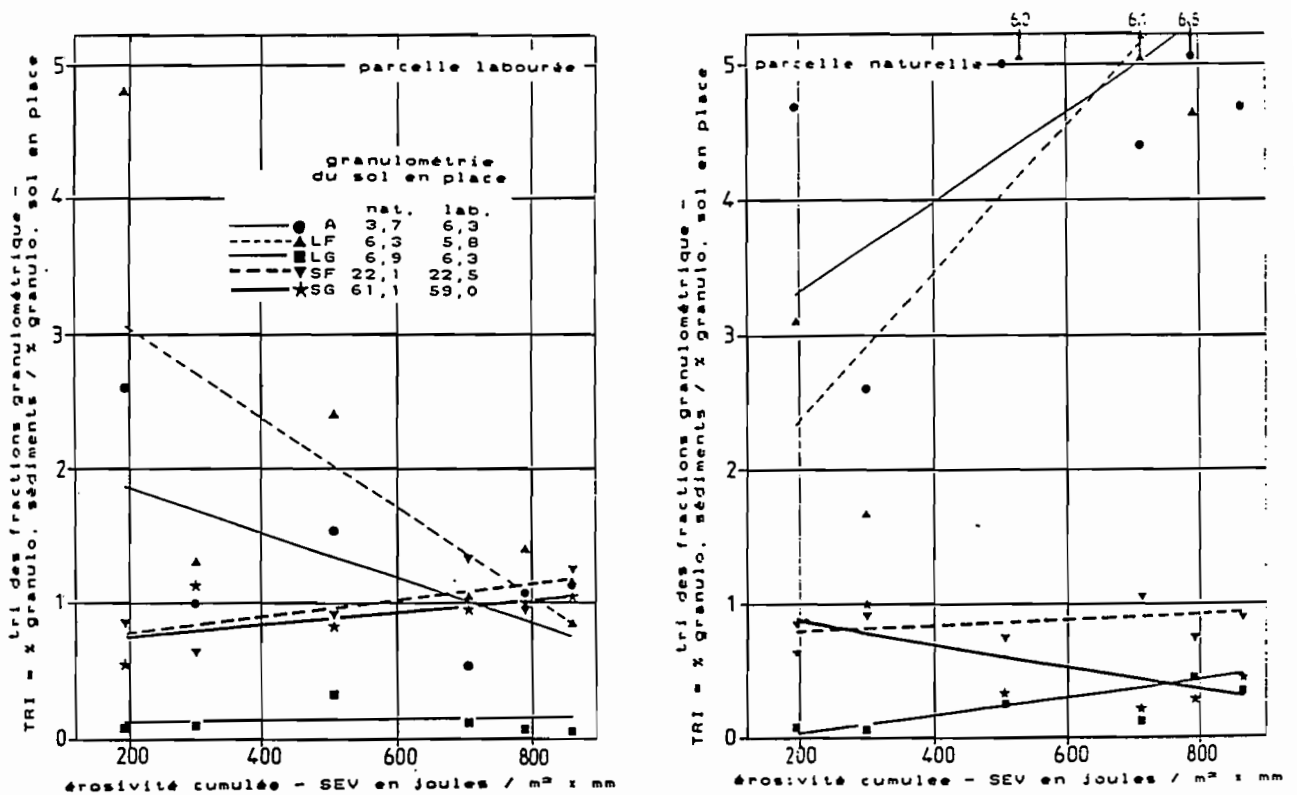


Fig. V.34b.: Sélectivité granulométrique de l'érosion hydrique sur KORHOGO 5

sur SAKASSOU 2

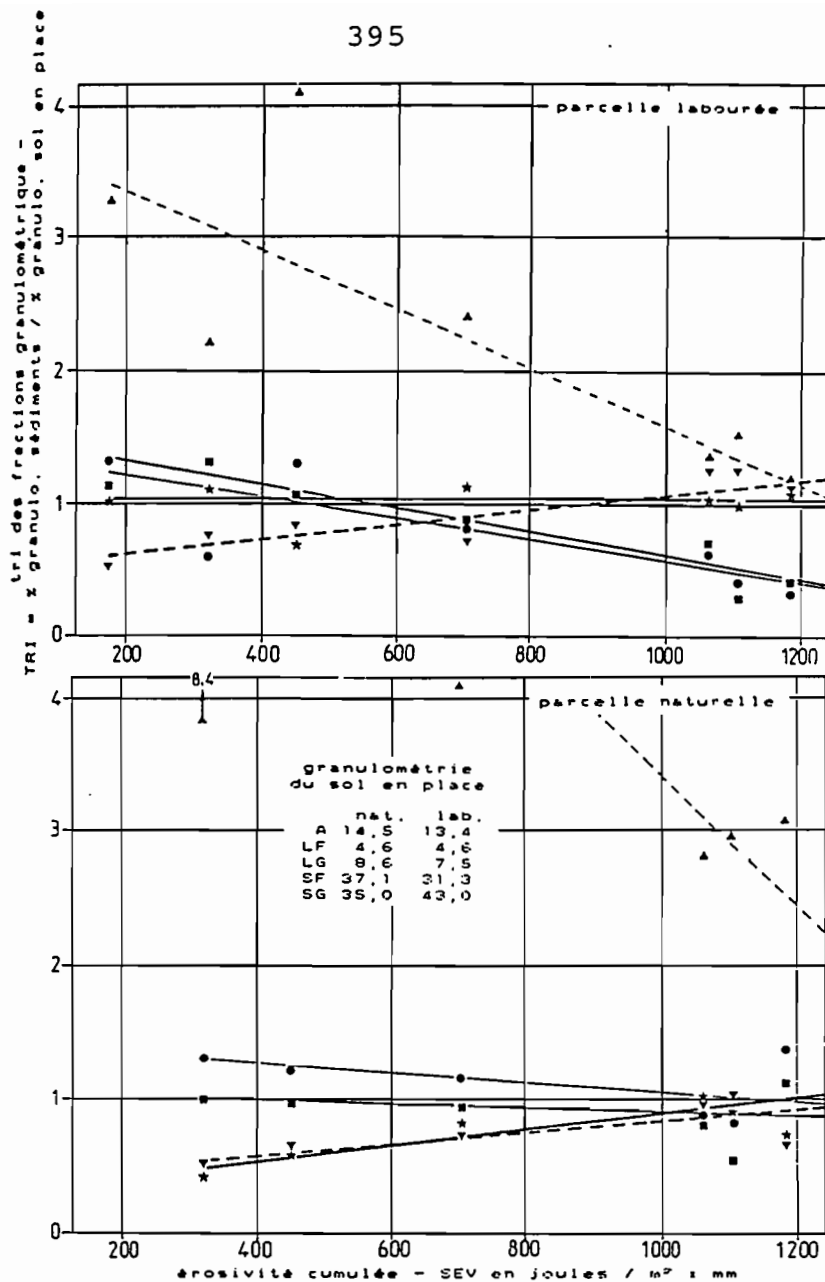
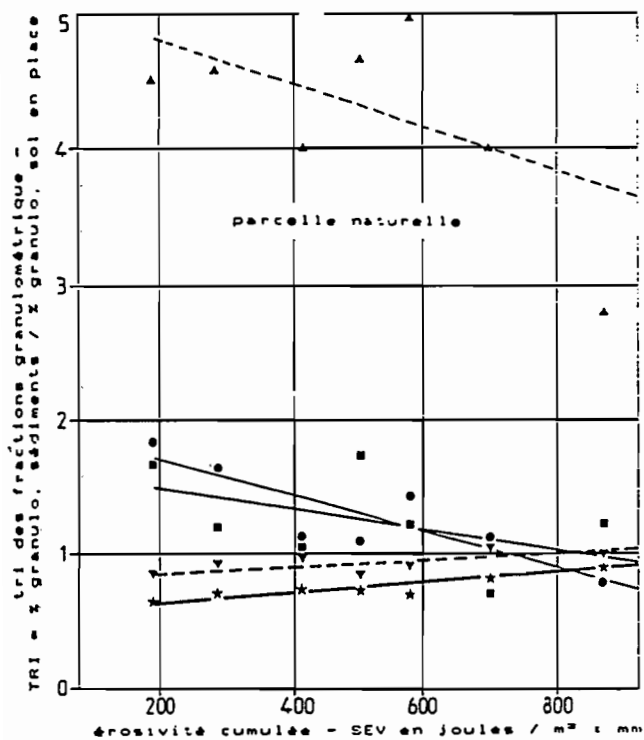
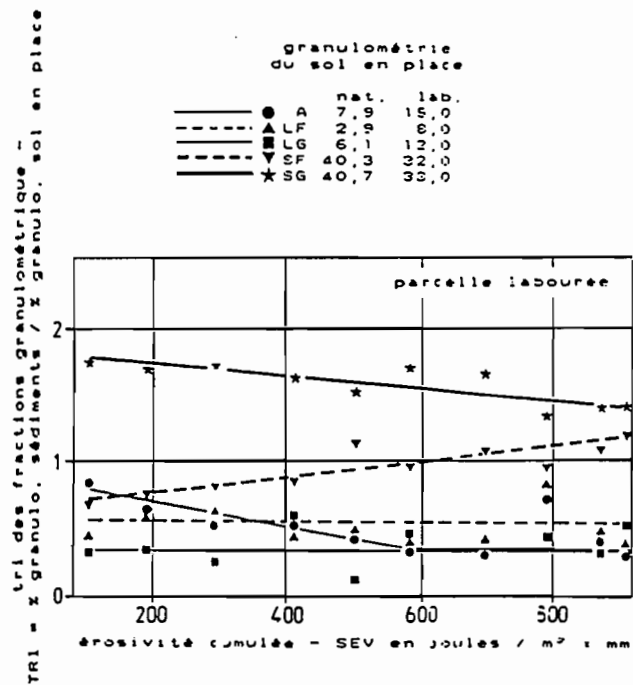


Fig. V.34c.: Sélectivité granulométrique de l'érosion hydrique



sur SAKASSOU 41



#### a) Argiles

Le commentaire précédent s'applique particulièrement aux argiles des sols en leur état naturel, en effet, ses exportations sont **d'autant plus élevées que le sol en contient peu** (comparaison GALMI 3 et GALMI 4 p. ex.) ; il apparaît en outre que TRI devient peu différent de l'unité pour des sols contenant environ 15 % d'argile. Cette constatation confirme les résultats trouvés par VALENTIN sur des parcelles de 1 m<sup>2</sup> (VALENTIN, 1982). Sur les sols labourés les détachabilités en argile sont plus faibles ce qui contredit alors les observations effectuées sur 1 m<sup>2</sup>, cette différence signifie que les effets du courant, plus faciles à mettre en évidence sur 10 m de longueur de versant, dissimulent ceux de l'énergie des pluies pour cette classe granulométrique.

#### b) Limons fins

Leur taux est nettement **plus important dans les sédiments** et les sols ferrallitiques en "lâchent" 3 à 5 fois plus que les sols des autres domaines pédoclimatiques sauf si ces derniers sont différenciés sur d'anciennes altérations kaoliniques.

#### c) Limons grossiers

Leur **concentration dans les sédiments** est fugace dans le domaine sahélien où ils proviennent des dépôts éoliens saisonniers, ils **s'accumulent relativement dans le sol en place** dans le domaine guinéen.

#### d) Sables fins

Ils **s'accumulent relativement dans les sols en leur état naturel** quels que soient les domaines d'origine, ils **se concentrent par contre dans les sédiments** provenant de sols labourés sujets à une érosion concentrée (SAKASSOU p. ex.).

#### e) Sables grossiers

Leur **concentration dans les sédiments** est directement proportionnelle à celle dans le sol en place lorsque celui-ci en contient plus de 40 %, mais leur mobilisation dans les sédiments se produit par "saccades" ce qu'il est normal de constater compte tenu de vitesses critiques d'abrasion, de transport et de dépôt relativement proches (cf. diagramme de HJULSTRØM, fig.V.10).

Sur les sols en leur **état naturel**, la sélectivité de l'érosion hydrique amène :

- sur les sols de texture fine :
  - un appauvrissement en limons fins et en sables grossiers,
  - une accumulation relative d'argiles, de limons grossiers, et de sables fins,
- sur les sols de texture plus grossière :
  - un appauvrissement en argiles et en limons fins,
  - une accumulation relative de limons grossiers, de sables fins et de sables grossiers.

Il s'ensuit que, pour ces deux pôles texturaux, l'érosion hydrique amène une péjoration des caractéristiques structurales allant dans le sens : → d'une prise en masse et d'une compaction des sols **argileux** où l'érosion sera surtout la conséquence d'une **augmentation des ruissellements**, → d'une diminution de la cohésion par départ du plasma argileux dans les sols **sableux** où l'érosion sera surtout liée à une **augmentation de la détachabilité**.

Sur les sols **labourés** les modifications sont moins importantes que ce que l'on aurait pu supposer :

- sur les sols de texture fine, on détecte les mêmes processus que précédemment mais le tri est plus rapide (TRI voisin de 1,0), le lissage de la parcelle intervient plus vite ce qui augmente d'autant la vitesse du courant,
- sur les sols de texture plus grossière, l'appauvrissement en argile et limons fins est moins marqué que sur le témoin naturel, par contre les sables grossiers se concentrent dans les sédiments (TAÏ 3 p. ex.), la sélectivité de l'érosion hydrique y serait donc moins accentuée que celle des sols en leur état naturel.

Sur les sols **billonnés de GALMI et buttés de TAÏ**, la mobilisation des différentes classes granulométriques est sensiblement différente : le **billonnage** amène une intensification des processus repérés sur les mêmes sols en leur état naturel. C'est ainsi que les sols plus argileux ne s'appauvrissent plus qu'en sables grossiers (GALMI 4 p. ex.), que les sols sableux s'appauvrissent 2 à 3 fois plus fortement en argiles et en limons fins surtout lorsque les billons sont orientés selon la ligne de plus grande pente (GALMI 3 p. ex.). Ce processus correspond à deux phases de mobilisation des éléments exportables : a) détachement sur billons puis décantation sur interbillons, b) remobilisation des dépôts interbillons.

Le **buttage** semble, par contre, fournir des résultats très voisins de ceux des labours à plat (TAÏ), mais les essais concernant cette situation expérimentale sont trop peu nombreux pour généraliser cette interprétation.

### ***XVI.3. Les interactions contraintes - constituants : proposition de schémas explicatifs des érosions hydriques***

L'interprétation des résultats obtenus dans les chapitres précédents permet de proposer **différents schémas explicatifs de l'évolution des érosions** sur l'ensemble des situations expérimentales étudiées.

L'érosion hydrique étant le résultat de la prise en charge des éléments détachés du sol par le courant de ruissellement, il convient de résumer les causes essentielles de la mobilisation et du transport des particules de la surface des sols, pour cela, on reprendra successivement :

- les **évolutions des détachabilités** liées au splash et à l'abrasion du courant de ruissellement,
- les évolutions des intensités du **courant de ruissellement**,
- les **érosions** résultant de la manifestation des effets des paramètres précédents sur les surfaces les plus caractéristiques. Ceci revient à retenir les situations suivantes :

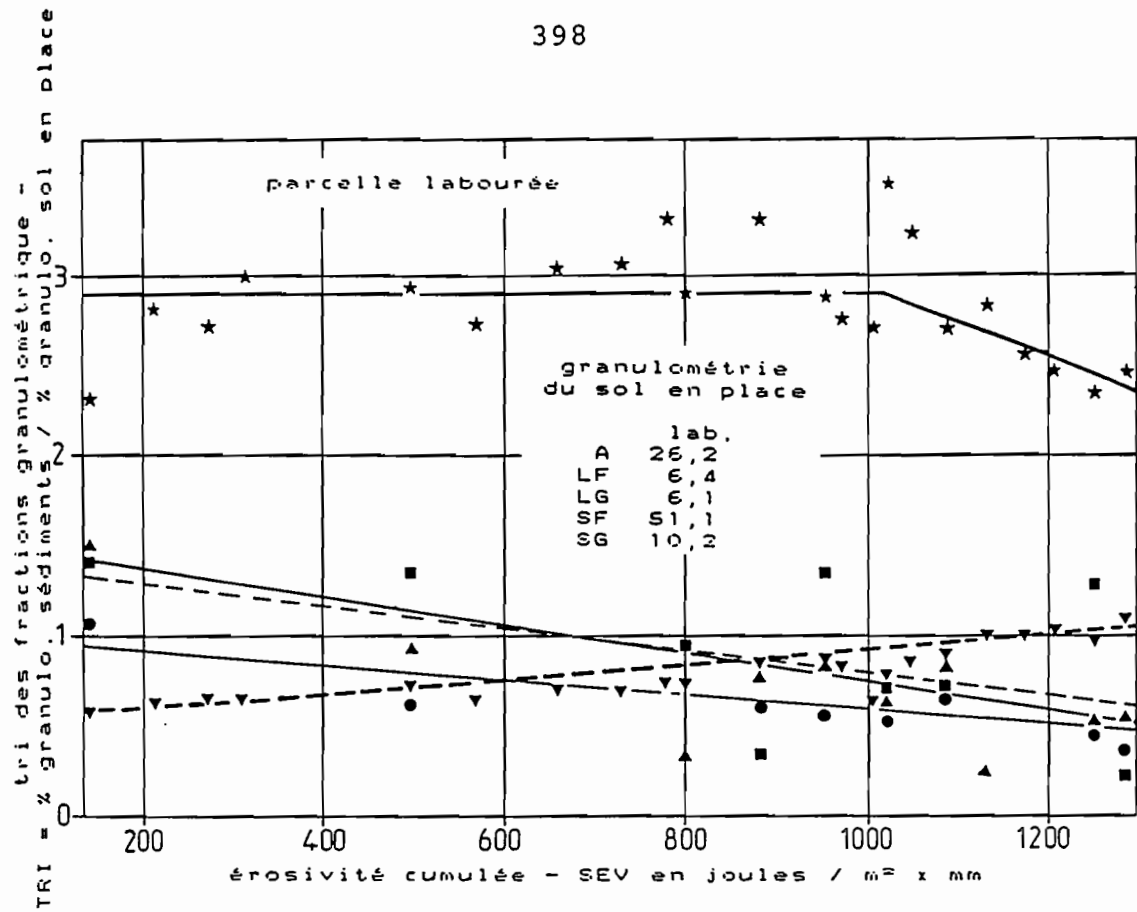


Fig. V.34d.: Sélectivité granulométrique de l'érosion hydrique sur TAï 3

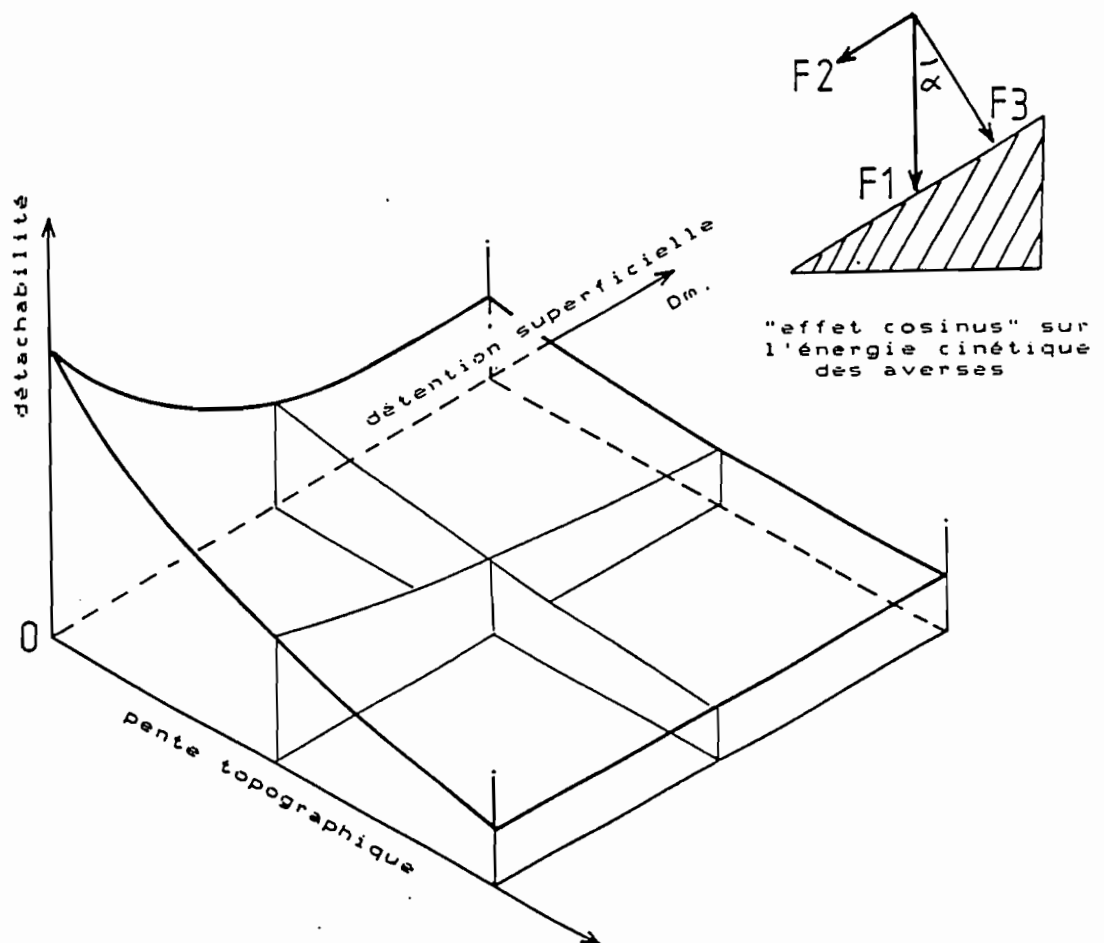


Fig. V.35.: Détachabilité liée au "splash".

- les sols sableux des zones sèches et humides en leurs états naturel et labouré,
- les sols argilo-sableux kaolinitiques meubles des zones humides en leurs états naturel et labouré,
- les sols argilo-sableux smectitiques meubles des zones sèches en leurs états naturel et labouré,
- les sols argilo-sableux kaolinitiques gravillonnaires des zones sèches et humides en leur état naturel.

Ces quatre situations représentent les cas les plus caractéristiques à partir desquels peuvent être intrapolés les comportements hydrodynamiques et érosifs de nombreuses autres variantes. On remarquera que ce choix correspond à des situations bien réelles :

- on a constaté que le comportement érosif des sols sableux était effectivement **azonal**, parce que cette texture correspond à la prédominance d'une classe granulométrique peu réactive vis-à-vis des processus d'hydratation; pour cette raison, les sols sableux des zones sèches sont regroupés avec ceux des zones humides,

- la nature minéralogique des argiles commence par contre à intervenir à partir des textures argilo-sableuses. Elle est à l'origine d'effets évolutifs **zonaux** (dynamique structurale, désagrégation par éclatement, dispersion) traduisant des réactions orientées par les différences d'argilogénèse entre les zones sèches et les zones humides,

- les charges gravillonnaires superficielles, modifiant les comportements, ont un caractère **azonal**. On les retrouve en effet depuis les zones sèches jusqu'aux zones humides à cette différence près que, dans le nord, elles caractérisent des sols différenciés à partir d'anciennes altérations kaolinitiques et se limitent alors aux parties amont des modelés alors qu'elles peuvent en couvrir la majeure partie dans le sud.

#### *XIV.3.1. Evolution de la détachabilité liée à l'énergie des pluies (splash)*

Cette évolution est schématisée sur le bloc-diagramme de la figure V.35. où elle est exprimée selon deux demi-axes : a) un demi-axe définissant l'intensité de l'interception de l'énergie par augmentation de la hauteur de la lame ruisselante ( $D_m$ , en mm) et b) un demi-axe quantifiant la pente topographique (pente, en %),

- dans l'espace "détachabilité- $D_m$ " : la détachabilité est maximale pour des valeurs nulles de  $D_m$ , situation fugace réalisée dès la première averse pendant la pluie d'imbibition ; par la suite, apparaît le ruissellement avec une lame  $D_m$  dont la hauteur augmente généralement jusqu'à une valeur plus ou moins constante à partir de laquelle la dissipation de l'énergie de la pluie devient elle-même constante,

- dans l'espace "détachabilité-pente", et pour une pente nulle, les pluies tombent perpendiculairement à la surface du sol générant une érosivité maximale ; l'inclinaison de la surface du sol entraîne une diminution de

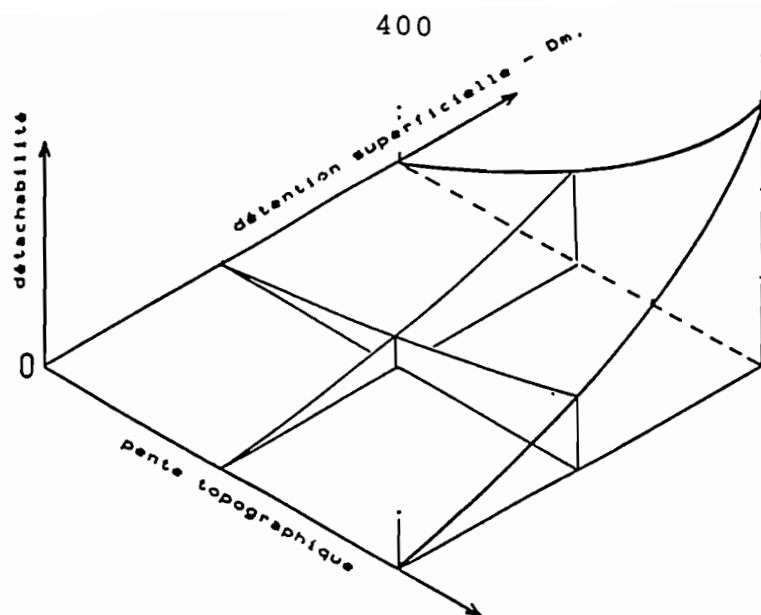


Fig. V.36.: Détachabilité liée au courant de ruissellement.

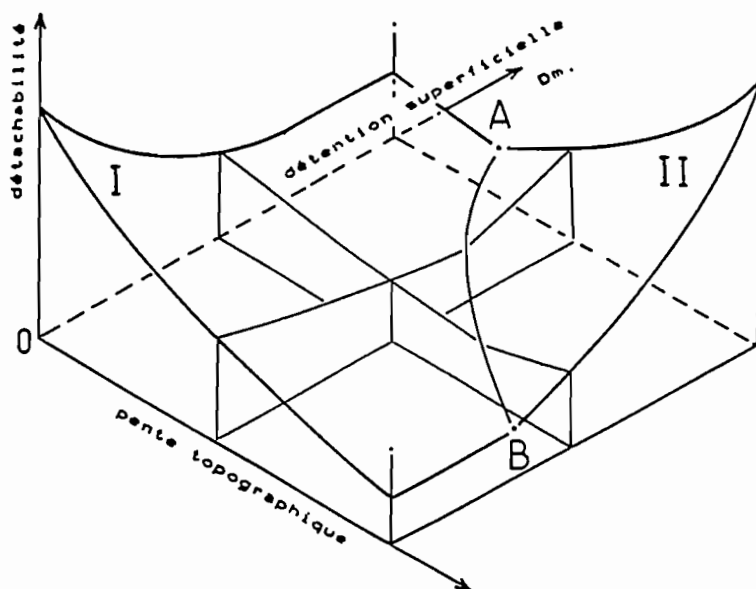


Fig. V.37.: Détachabilité résultant de la conjonction du "splash" et de l'abrasion du ruissellement.

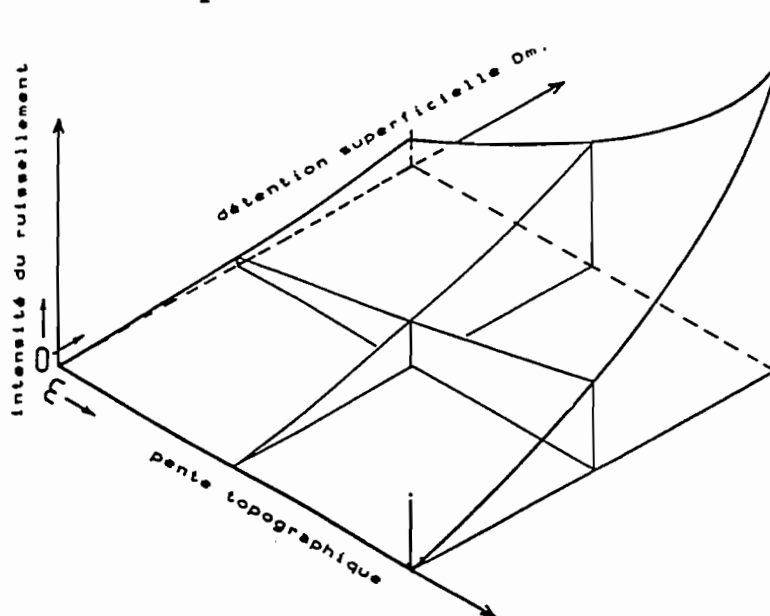


Fig. V.38: Modification de l'intensité du ruissellement avec la pente topographique



l'érosivité telle que les forces générant cette énergie se distribuent de la façon indiquée sur le schéma annexe :

$$F_3 = F_1 \cdot \cos \alpha$$

- dans l'espace "détachabilité-Dm", et pour des fortes pentes, l'évolution des détachabilités reste conforme à ce qui a été développé dans le premier alinéa, cependant, Dm et l'érosivité décroissent avec la pente ce qui fournit une charge solide où la diminution de l'interception est compensée par une diminution de l'érosivité, cette détachabilité reste ainsi plus ou moins constante.

#### *XIV.3.2. Evolution de la détachabilité liée au courant de ruissellement*

Elle est schématisée sur le bloc diagramme de la figure V.36. :

- dans l'espace "détachabilité-Dm" : si la pente est nulle, il ne peut y avoir ni écoulement ni abrasion,
- dans l'espace "détachabilité-pente" : il n'y a pas d'écoulement pour des valeurs nulles de Dm, situation théorique correspondant à une infiltration totale pour une intensité d'infiltration initiale maximum  $F_0$  (mm/h),
- dans l'espace "détachabilité-Dm" et sur forte pente : selon la formule de MANNING la vitesse du courant augmente avec la puissance  $2/3$  de l'épaisseur de la lame Dm et avec la puissance  $1/2$  de la pente topographique. La conjonction de lames ruisselantes épaisses et de fortes pentes fournit ainsi les plus fortes abrasions pour une rugosité égale à l'unité, approximation acceptable pour une démonstration sur un cas théorique.

#### *XVI.3.3. Détachabilité résultant de la conjonction du splash et de l'abrasion due au courant de ruissellement*

Elle est schématisée sur le bloc diagramme de la figure V.37. où l'interpénétration des deux volumes précédents, définis par le même système d'axes, construit une surface courbe présentant les caractéristiques suivantes :

- vers l'origine des demi-axes prédomine une détachabilité due au splash,
- pour des valeurs élevées de Dm et de la pente, prédomine une forte charge liée cette fois exclusivement à l'abrasion d'un courant de forte vitesse,
- l'intersection des deux volumes sur la surface courbe détermine entre A et B une trace où la détachabilité résultant de la conjonction des deux modes d'érosion est minimum. Les aires I et II, traduisant respectivement ces deux modes, possèdent des extensions variables, fonction de la composition des sols et de leurs situations expérimentales.

#### *XIV.3.4. Les intensités du ruissellement*

On a gardé, sur la figure V.38., la même représentation triaxiale que précédemment, ce qui est critiquable si l'on considère que Dm varie en fonction de Rx, cette inversion de variable est cependant justifiée par les nécessités

de la démonstration. Si l'on accepte de considérer que le ruissellement a lieu sur une parcelle non rugueuse, plane donc sans canalisation, l'évolution de Rx est homothétique de celle de la détachabilité liée à l'abrasion du courant de ruissellement. Dans ces conditions, les vitesses du courant sont directement liées aux intensités Rx. On notera, que si Dm décroît avec la pente topographique, Rx augmente avec celle-ci et que Dm augmente avec Rx pour des valeurs non nulles de la pente puisque  $Dm = A \cdot Rx^{1/2}$ .

#### *XIV.3.5. Les érosions résultantes*

L'érosion étant le résultat du produit d'une intensité d'écoulement par une charge solide, l'association des blocs diagrammes des figures V.37. et V.38. produit une nouvelle surface courbe représentée sur la figure V.39. où, pour simplifier le raisonnement, l'origine du demi-axe "pente" est non nulle :

- vers les pentes faibles, la surface "érosion-Dm" présente une crête correspondant à la mobilisation rapide (section A B) des éléments provenant du splash par le courant de ruissellement. On constate ensuite une diminution plus lente (section B C D) de l'érosion car il y a dilution de la charge provenant du splash dans un ruissellement dont le débit génère aussi une abrasion. La section B C D reproduirait ainsi une évolution  $Cx = f(Rx)$  de type 2 telle qu'elle a été définie dans le chapitre XIII.3.2.. Une variante pourrait correspondre au type 3 si l'on admettait une capacité érosive nulle de la lame ruisselante donc une disparition de l'abrasion en nappe,

- avec l'augmentation de la pente topographique, on note une disparition progressive de la crête  $B \rightarrow B' \rightarrow B''$  non pas par atténuation du splash mais par occultation de son effet sur l'érosion globale à cause des charges provenant des effets de l'abrasion du courant. La courbe C' D' traduit une érosion concentrée se renforçant avec l'augmentation de la pente (courbe B" C" D"),

- pour des lames Dm de hauteurs constantes, l'augmentation de la pente topographique ne produit un effet positif que lorsque se manifestent des érosions en nappe ou concentrées et la disparition de la crête  $B \rightarrow B' \rightarrow B''$  est le résultat de cet accroissement,

- on remarquera enfin que d'autres demi-axes parallèles au demi-axe Dm pourraient également figurer :

- dans le même sens que l'évolution de Dm ils correspondraient :

- à l'accroissement de la cohésion de la surface,
- à l'homogénéisation de la conductivité hydraulique,
- à l'augmentation de l'humidité volumique de la surface,
- donc à l'augmentation de sa résistance hydraulique,

- dans le sens opposé, à l'augmentation du temps de ressuyage ( $T_a$ ) et du déficit de saturation ( $\Delta\theta$ ).

Les schémas précédents illustrent une évolution théorique. Il convient maintenant de les appliquer aux situations réelles énumérées précédemment.

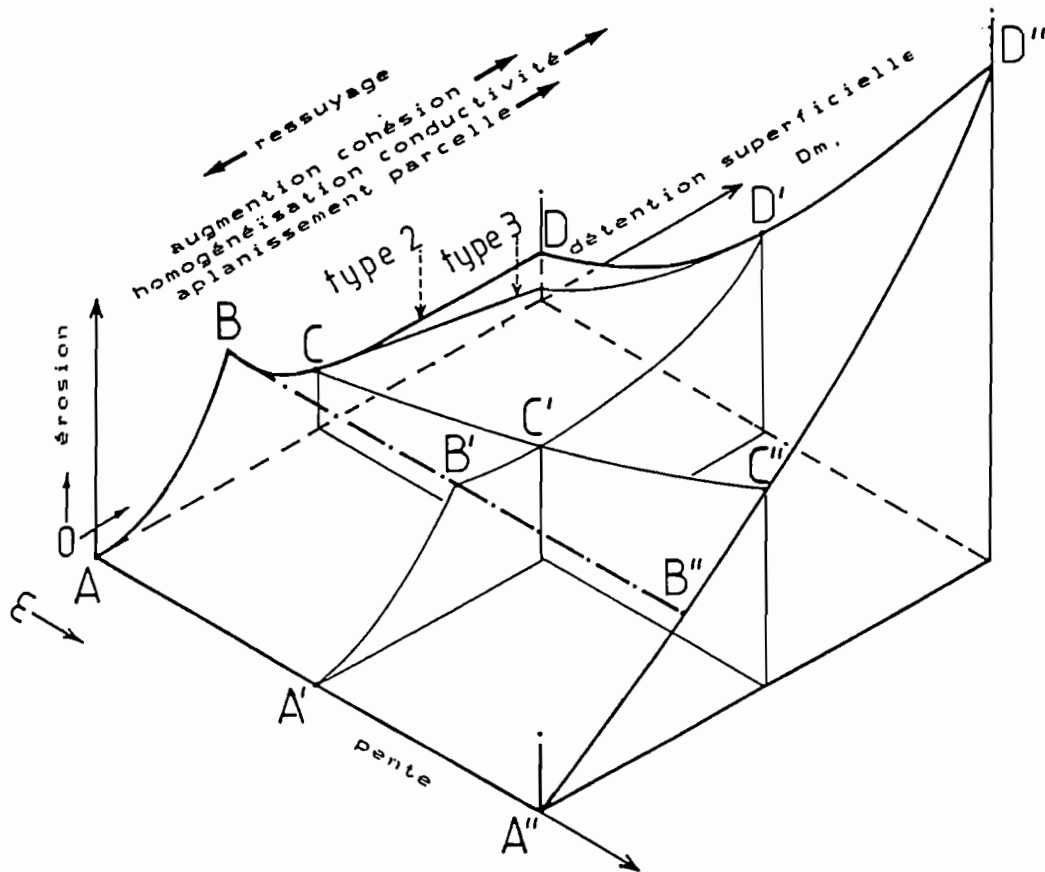


Fig. V.39.: Erosion théorique résultant de la conjonction des deux modes de détachabilité ("splash" + abrasion du courant).

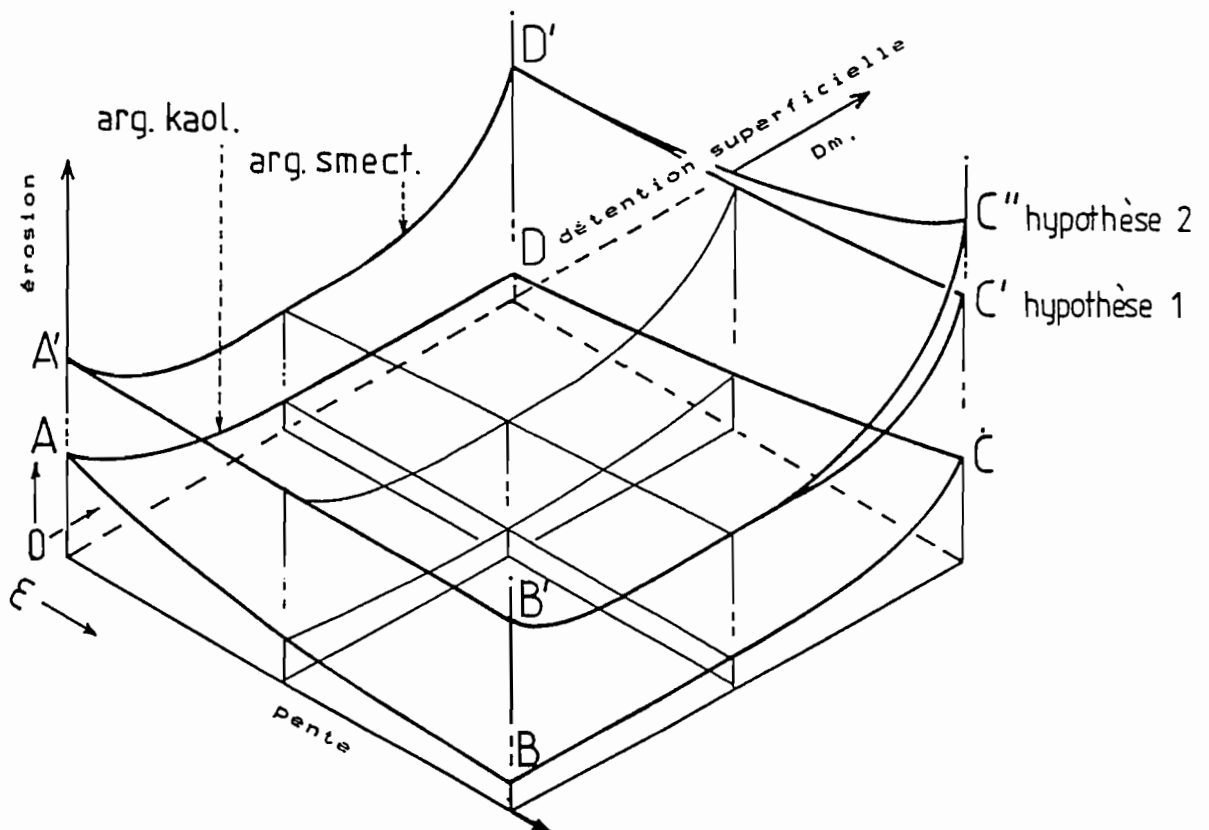


Fig. V.40.: Erosion des sols argilo-sableux, meubles, kaoliniques ou smectitiques.

*XIV.3.5.1. Erosion des sols argilo-sableux kaolinitiques et smectitiques meubles (figure V.40.)*

**a) argiles kaolinitiques des zones humides**

La surface A B C D traduit une érosion de faible niveau et de faible évolution quelles que soient les valeurs de  $D_m$  et de la pente comme cela a été démontré dans les paragraphes XIII.2 et XIV.1. On observe une sensible diminution de la détachabilité avec la pente d'où une érosion décroissant pour les faibles ruissellements (section A B) et une érosion augmentant légèrement pour les forts ruissellements (section D C) ; les situations "sol naturel" et "sol labouré" ne sont guère différentes et n'ont pas été séparées sur le bloc-diagramme.

**b) argiles smectitiques des zones sèches**

La surface A' B' C' D' traduit une érosion plus intense que précédemment. Son évolution est nettement corrélée aux variations de  $D_m$ , moins nettement à celles de la pente. L'érosion maximale, située près de l'origine des deux demi-axes (A'), correspond à l'exportation d'éléments restructurés en copeaux de dessiccation pour une ultradessiccation liée à des temps de ressuyage importants. Le second maximum sur faible pente (D') représente une abrasion de microhorizons ayant atteint leurs limites de liquidité pour un raccourcissement des temps de ressuyage provoquant une sursaturation hydrique de la surface. L'effet de la pente topographique est peu connu sur les sols vertiques car ceux-ci se différencient essentiellement en topographie plane à largement ondulée. On peut supposer que cette pente n'aura pas d'effet sur l'érosion issue d'averses tombant sur des sols secs (section A' B'). Sur les sols sursaturés (section D' C'), le problème est plus complexe avec deux hypothèses :

- l'influence de la pente est faible car la capacité réelle du transport est inférieure à sa capacité potentielle parce que la charge solide est excessive,

- la capacité réelle se rapproche de la capacité potentielle parce qu'il s'instaure une érosion concentrée restaurant, par à-coups, cette capacité de transport.

La première hypothèse est la plus vraisemblable (maximum C') : en année pluviométrique normale, la sursaturation hydrique reste "épidermique", l'abrasion des horizons liquéfiés amène à l'affleurement des horizons non saturés, cohérents et résistants.

La seconde hypothèse ne pourrait se réaliser qu'en années pluviométriques exceptionnellement humides amenant une sursaturation hydrique plus profonde où la restauration de la capacité de transport pourrait être assurée par des averses intenses et fréquentes ; elle s'appliquerait donc surtout aux sols vertiques azonaux des zones plus méridionales.

*XIV.3.5.2. Erosion des sols sableux des différents domaines pédoclimatiques (figure V.41)*

**a) sol en son état naturel**

La surface d'érosion A B C D représente une érosion plus élevée que celle des sols argilo-sableux kaolinitiques précédents. Ce sol réagit à la fois au splash et à l'abrasion du courant. Le passage du premier mode au second est parfois difficile à percevoir car ce sol réagit à la turbulence du flux de ruissellement (impact des gouttes) étant donné la faible cohésion des surfaces sableuses. Mais les incisions des parcelles naturelles sont rares si la pente augmente.

**b) sol labouré**

La surface A' B' C' D' dessine une "auge" avec des érosions maximums en A' et surtout en C'. L'érosion est minimum selon un "sillon" B' D' correspondant à une différence d'infiltrabilité modulée par l'effet de la pente : le maximum B' correspond à un effet splash limité par une atténuation de l'érosivité ("effet cosinus"), le minimum D' montre une atténuation de l'érosion plus accentuée que sur sol naturel (D) car lissage et cohésion sont plus importants puisque la texture est sensiblement plus argileuse (homogénéisation du labour). L'abrasion en nappe est alors relativement limitée sur les faibles pentes. La même surface, sur forte pente, montre les manifestations d'une érosion concentrée ravinante et d'une reprise du splash d'où un niveau d'érosion très élevé en C' (cohésion plus faible du labour).

*XIV.3.5.3. Erosion des sols argilo-sableux kaolinitiques gravillonnaires (figure V.42.)*

L'évolution est ici considérée en fonction des taux de recouvrement en éléments grossiers (demi-axe EG %) et en fonction de la pente topographique dont l'origine est non nulle pour simplifier la démonstration.

- la relation étudiée dans le paragraphe XIV.1.3. justifie la représentation de l'évolution de l'érosion dans l'espace "érosion-éléments grossiers" (diminution exponentielle de l'érosion avec l'augmentation de la charge),

- dans l'espace "érosion-pente", pour des charges nulles en éléments grossiers, l'érosion reste plus ou moins constante sur sol ressuyé, et augmente légèrement sur sol initialement humide (seule surface représentée), ce qui reprend le schéma de la figure V.40,

- sur des pentes fortes, l'augmentation de la charge superficielle en éléments grossiers ne peut pas provoquer la même évolution des érosions que celle détectée sur des pentes faibles à moyennes telles que celles ayant permis de formuler la relation précédente (pentes  $\leq 18,7$  % sur la totalité du transect de cette étude). Il convient en effet de distinguer deux portions de courbes :

- portion I  $\Rightarrow$  pour des taux de recouvrement faible, l'interception du splash est faible, la rugosité de la surface provoque la turbulence du flux d'un courant de forte vitesse compte tenu de la pente, donc une abrasion renforcée en aval de chaque élément grossier,

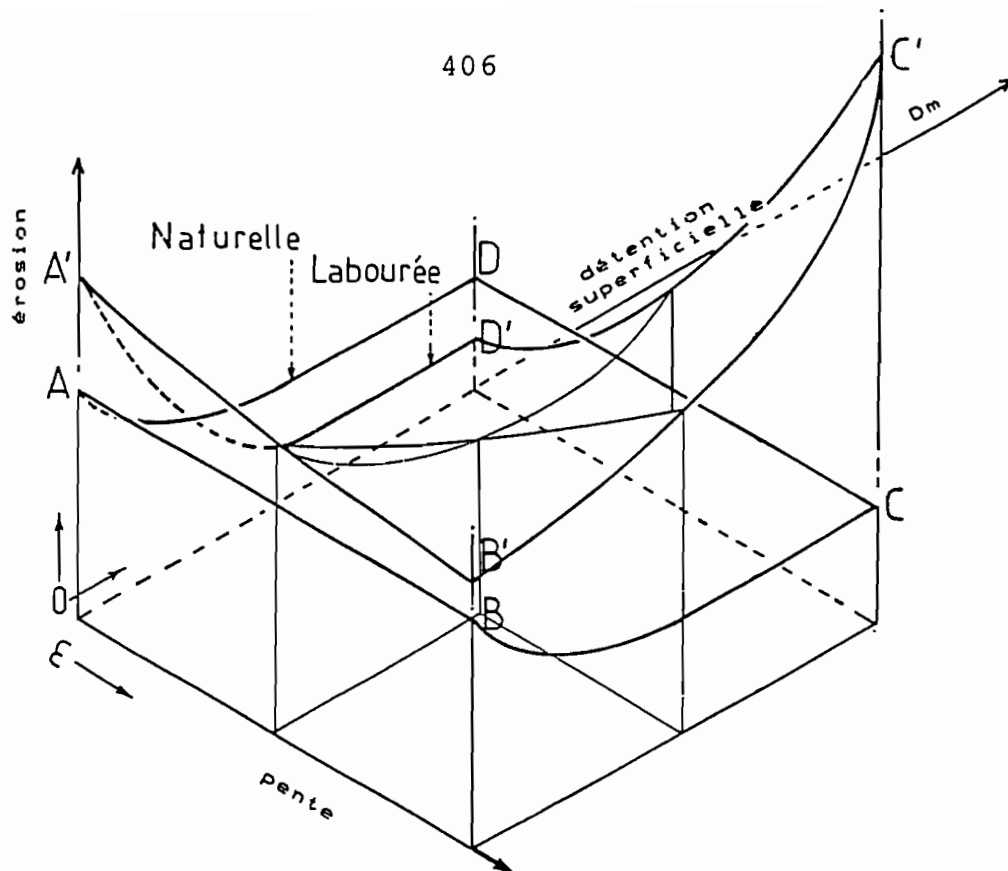


Fig. V.41.: Erosion des sols sableux, meubles, "naturels" et "labourés".

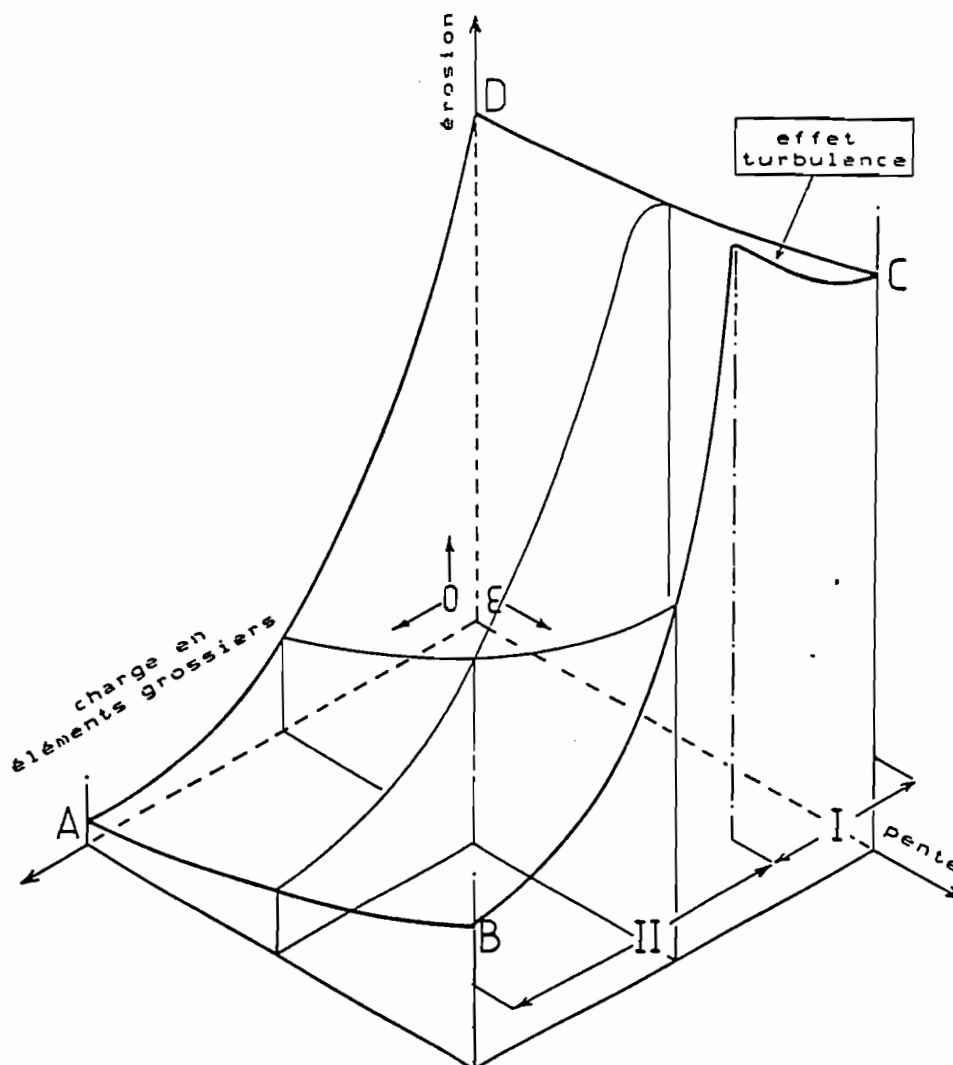


Fig. V.42.: Erosion des sols gravillonnaires.

.. portion II  $\Rightarrow$  interception et rugosité conjuguent de nouveau leurs effets mais les érosions restent constamment supérieures à celles sur pentes faibles,

Les évolutions entre A et D sont surtout représentatives des épandages gravillonnaires des zones soudaniennes et soudano-guinéennes (longs versants peu pentus), les évolutions entre B et C correspondent aux sols pentus à charge décroissant de l'amont vers l'aval et à versants courts des zones guinéennes.





## CHAPITRE XV

### LES ORGANISATIONS DE LA SURFACE DU SOL : GENESE, EVOLUTION, CONTRÔLE DE L'INFILTRATION

L'interface pédo-bio-atmosphère, dont le concept a été défini précédemment, est le premier volume sur lequel s'exerce les contraintes d'origine pluviale. Il contient les éléments d'informations essentiels pour la compréhension de la dynamique superficielle des sols

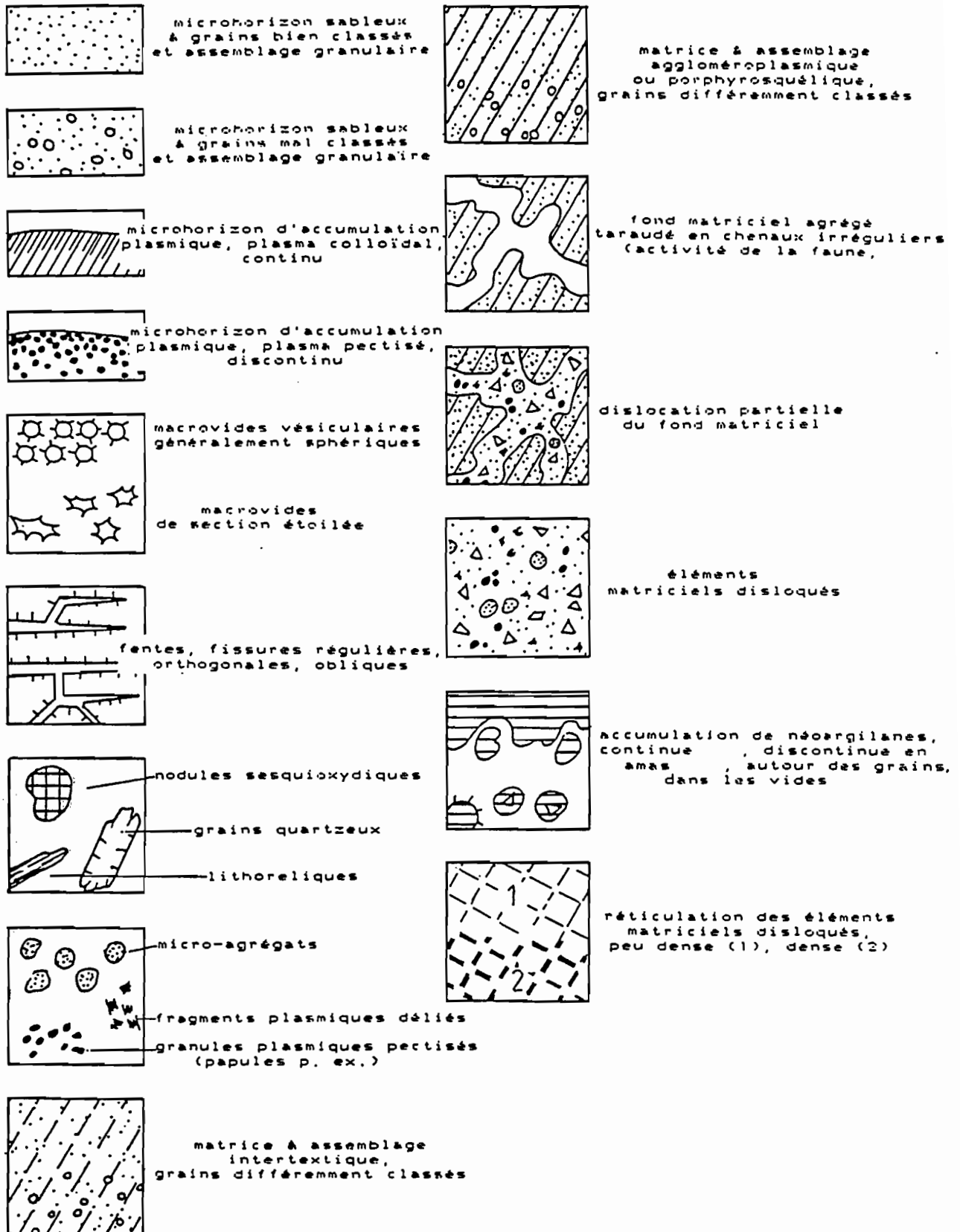
Les **organisations mésostructurales**, identifiées dans la deuxième partie de cette étude sont à l'origine de la manifestations de processus décrits dans la quatrième partie et analysés dans la cinquième partie. On a vu qu'elles intervenaient dans l'interception de l'énergie des averses (structures végétales, épandages gravillonnaires), dans la modification de la capacité érosive des ruissellements (rugosité, micromodelé), dans la résistance hydraulique des premiers décimètres du sol (porosité biotique végétale et animale). cependant elles réagissent relativement peu, ou tout au moins lentement, aux contraintes qu'elles subissent.

Il en va tout autrement en ce qui concerne les **organisations microstructurales** des premiers centimètres du sol qui subissent, tout au long des averses, des évolutions rapides et plus ou moins importantes selon l'intensité des contraintes qui leur sont appliquées. Elles méritent, de ce fait, une étude particulière qui débouchera sur une semi-quantification des infiltrations et sur une évaluation des volumes de sol concernés par l'hydrodynamique actuelle pour les différentes situations rencontrées ou créées tout au long du transect de notre étude.

#### **XV.1. Méthode des prélèvements**

L'analyse microstructurale s'opère sur des lames minces de sol provenant de prélèvements d'échantillons des couches superficielles. Ces prélèvements s'effectuent sur des sols secs, ressuyés et saturés. Sur sol sec, on découpe une motte à limites franches permettant un emballage assurant toute protection au transport. Sur les sols **ressuyés** pendant quelques heures à l'issue des averses simulées, on utilise des boîtes métalliques (café soluble) dont on découpe le fond, on dispose ainsi d'un "emporte-pièce" qui est enfoncé verticalement dans la surface du sol en exerçant une pression constante jusqu'à ce que l'ouverture de la boîte émerge d'environ un centimètre au-dessus du sol, une petite excavation latérale permet ensuite de isoler l'échantillon du sol. Cette méthode est également utilisée pour prélever des échantillons **pendant** les essais, donc sur des sols **saturés**, moyennant quelques précautions pour ne pas perturber exagérément la surface de la parcelle.

Fig. V.43.: Légende des schémas de lames micromorphologiques.



Sur les différents sites, on s'est efforcé de faire coïncider les prélèvements avec les situations expérimentales les plus aptes à démontrer un enchaînement de processus amenant, entr'autres choses, la redistribution de la phase plasmique. La fréquence des prélèvements est guidée par une évaluation du risque de dégradation irréversible des parcelles, ils ont été ainsi plus fréquents en zone humide qu'en zone sèche.

On s'est également attaché à repérer les zones les plus caractéristiques de telle ou telle dynamique : prélèvements en sommet d'ondulation où prédomine l'action érosive des pluies, prélèvements dans les zones déprimées où s'ajoute l'action du courant de ruissellement, étagement des prélèvements de l'amont à l'aval des parcelles pour dégager d'éventuels effets cumulatifs.

## XV.2. Les redistributions plasmiques et remaniements connexes

L'observation de quelque 250 lames minces a démontré la spécificité des réactions, par situation expérimentale et également, et heureusement, la possibilité d'identifier un petit nombre d'organisations microstructurales suffisamment répétitives pour que l'on puisse les considérer comme des types de différenciation. La figure V.43. ainsi que les photographies de l'annexe illustrent cette **typologie** servant de légende aux schémas des différentes lames retenues comme exemples. On présentera et l'on commentera les organisations provenant des sols en leur état **naturel, labourés, billonnés, buttés** et l'on distinguera à l'intérieur de ces situations, les sols **sableux et argilo-sableux** des zones **sèches et humides**.

#### XV.2.1. Sols naturels sableux des zones sèches

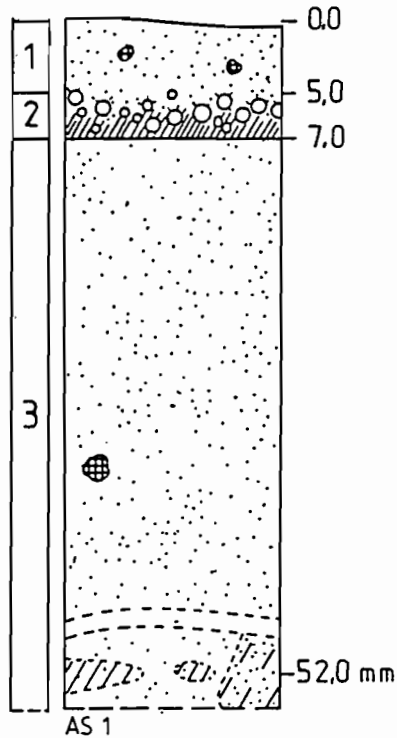
- OURSI 1, sol isohumique brun-rouge sub-aride sur sables éoliens

### •• Situation avant les averses simulées

SITE	LAME	LOCAL	SEV	AVER	EPAI	SURF
1	2	3	4	5	6	7
COURSI 1	AS 1	hors	0	0	0 à 80	zone
		parcelle:				ensablée:

Légende 1 : SITE = site expérimental,  
 2 : LAME = numéro de la lame mince,  
 3 : LOCAL. = position du prélèvement,  
 4 : SEV = érosivité cumulée des averses avant le  
 èvement (en joules/m<sup>2</sup> × mm),  
 5 : AVER = numéro de l'averse avant le prélèvement,  
 6 : EPAI. = épaisseur de l'observation (millimètres),  
 7 : SURF. = information synthétique sur l'état de la  
 surface du sol.  
 col.4 et 5 ⇒ 0 = observation en fin de saison sèche

•• Description AS 1 (planche II, photographie 1)



3 microhorizons ( $\mu h.$ ),

(1) de 0 à -4,0 ou -6,0 mm :  $\mu h.$  sableux, grains quartzeux arrondis bien classés ( $\emptyset$  médian # 0,2 mm), rares nodules, assemblage granulaire lâche, transition nette et régulière,

(2) sur une épaisseur de 2,0 à 3,0 mm :  $\mu h.$  vésiculaire ( $\emptyset$  # 0,2 à 1,0 mm), vésicules délimitées par des limons grossiers, surmonte un  $\mu h.$  de concentration plasmique continu de 0,2 mm d'épaisseur, transition nette et régulière,

(3) de -7,0 à -80,0 mm :  $\mu h.$  sableux, classement des grains hétérogène, discrète concentration plasmique en lame ondulée associée à des grains plus fins vers -52,0 mm, assemblage granulaire, tendance intertextique en îlots vers la base.

•• Situation après 9 averse simulées

SITE	LAME	LOCAL	SEV	AVER	EPAI	SURF
OURSI 1	AC 1	milieu	563	9	0 à 80	zone
		parcelle:				ensablée:

•• Description AC 1

3 microhorizons,

(1) de 0 à 10,0 mm :  $\mu h.$  sableux, assemblage granulaire plus lâche que sur AS 1,

(2) vers -10,0 mm :  $\mu h.$  de concentration plasmique, soit nette et régulière, surmontée d'un alignement de vésicules, soit diffuse sur # 2,0 mm et sans vésicules,

(3) -10,0 à -80,0 mm :  $\mu h.$  sableux peu différent du  $\mu h.$  3 de la lame précédente, rares néosquelétanes dans quelques vides en chenaux.

•• Dynamique actuelle

état	K1	I1	P1	CM2
sec	80 à 100	30	15	
humide	35 à 75	22	4	0,43

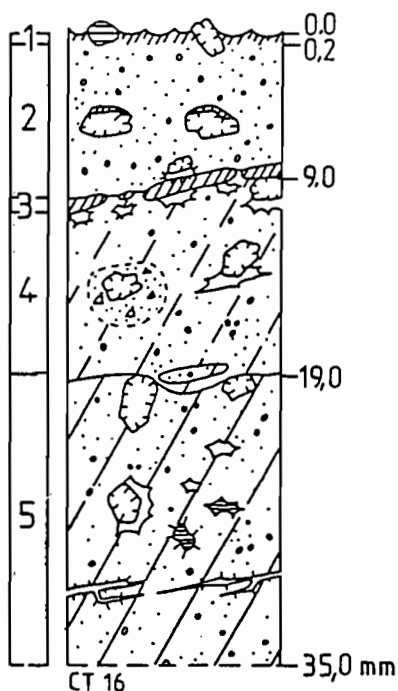
Légende	
K <sub>i</sub> = coefficient d'infiltration sur sol sec et humide:	
$K_i = \frac{100 \cdot W}{P_u}$	(%) avec W = lame infiltrée (mm) et P <sub>u</sub> = hauteur de pluie (mm)
I <sub>1</sub> = intensité limite de la pluie provoquant le premier ruissellement (mm/h),	
P <sub>i</sub> = hauteur de la pluie d'imbibition (mm),	
CM <sub>2</sub> = charge solide moyenne pondérée (g/l) pour une érosivité cumulée de 500 joules/m <sup>2</sup> × mm :	
$CM_2 = \frac{SE}{10 SL}$	(g/l) avec SE = érosion cumulée (kg/ha) SL = lame ruisselée cumulée (mm)
Remarque : les paramètres K <sub>i</sub> , I <sub>1</sub> , P <sub>i</sub> ont été retenus pour homogénéiser l'information par rapport à celle contenue dans une publication de CASENAVE et VALENTIN (à paraître 1988)	

• OURSI 3, sol ferrugineux, tropical, lessivé, sur granite

•• Deux situations après 9 averses simulées

SITE	LAME	LOCAL	SEV	AVER	EPAIS	SURF
OURSI 3	CT 16	aval	182	9	0 à 35	sommet
		parcelle:				ondulat.
	CT 11	m <sub>i</sub>	182	9	0 à 40	dépress.
		parcelle:				ensablée:

•• Description CT 16



5 microhorizons

(1) sur une épaisseur de 0,2 mm : μh. de concentration plasmique avec traces de microcratères d'impacts de gouttes, transition nette et régulière par décapage des μh. sous-jacents,

(2) -0,2 à -9,0 mm : μh. sableux, grains mal classés, assemblage granulaire, coiffes plasmiques au-dessus des sables grossiers, transition nette et ondulée,

(3) sur environ 0,5 mm : μh. de concentration plasmique peu dense, diffuse et discontinue, limite inférieure soulignée par des macrovides de section étoilée,

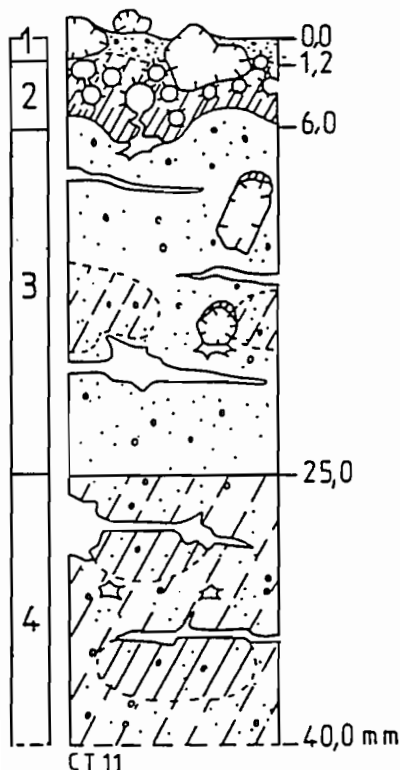
(4) -9,0 à -19,0 mm : μh. sableux, grains mal classés, assemblage granulaire à intertextique, macrovides étoilés sous les sables grossiers, amorces de dislocation du fond matriciel associées

aux sables grossiers et aux graviers, transition nette et régulière,

(5) -19,0 à -35,0 mm :  $\mu$ h. sablo-argileux, grains mal classés, assemblage aggloméroplasmique, localement porphyrosquélique, rares macrovides étoilés à argilanes, quelques néomatranes (illuviation ?), fissurations régulières vers la base.

•• Description CT 11 (planche III, photographie 1)

4 microhorizons



(1) 0 à -1,2 mm :  $\mu$ h. sableux, grains mal classés, sables fins dominant ( $\emptyset$  médian # 0,08 mm), graviers quartzeux posés en surface et contenus dans l'horizon, assemblage granulaire, transition nette et régulière,

(2) -1,2 mm à -6,0 mm :  $\mu$ h. de concentration plasmique de plus en plus dense en profondeur avec orientation des cristallites (en lumière polarisée analysée LPAN), vésicules en limite supérieure ( $\emptyset$  de 0,2 à 1,2 mm) communiquant avec le  $\mu$ h. (3) par des canalicules, autres vésicules localisés sous les grains grossiers, transition nette et ondulée,

(3) -6,0 à -25,0 mm :  $\mu$ h. sablo-argileux, grains mal classés, assemblage granulaire et accumulations plasmiques locales fournissant un assemblage intertextique, argilanes coiffant les quartz grossiers, macrovides en étoile sous les gros grains, fissure régulières et orthogonales moins fréquentes, transition nette et régulière,

(4) -25,0 à -40,0 mm : mêmes caractéristiques mais assemblage plus généralement intertextique à îlots aggloméroplasmiques en lames régulières, rares vides en étoiles et fissures régulières et déviées.

•• Dynamique actuelle

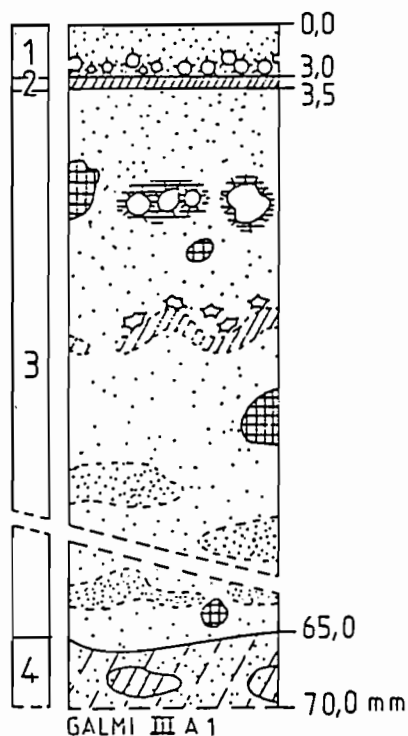
état	K1	I1	P1	CM2
sec	15 à 33	3,5	4,7	
humide	10 à 13	1,0	2,1	0,96

• GALMI 3, sol isohumique, brun sub-aride, modal, sur dépôts éoliens anciens de versant

•• Situation avant les averses simulées

SITE	LAME	LOCAL	SEV	AVER	EPAIS	SURF
GALMI 3	GALMI III	hors	0	0	0 à 70	plane
	A 1a, 1b	parcelle				ensablée

.. Description GALMI III.A.1 (planche II, photographie 2)



4 microhorizons

(1) 0 à -2,0 ou 3,0 mm :  $\mu$ h. sableux, grains ronds émoussés bien classés ( $\emptyset$  médian # 0,2 à 0,4 mm), assemblage granulaire, nombreux vésicules ( $\emptyset$  # 0,5 mm), rares ponts plasmiques entre les grains,

(2) sur une épaisseur de 0,5 mm :  $\mu$ h. de concentration plasmique à limite supérieure nette et inférieure diffuse, lit de vésicules en limite supérieure,

(3) -3,0 à -65,0 mm :  $\mu$ h. sableux, grains arrondis émoussés bien classés, assemblage granulaire et quelques traits horizontaux intertextiques à partir de -24,0 mm, concentration plasmique diffuse en bande ondulée à -17,0 mm limitée vers le haut par des macrovides en étoile, quelques néosquelétanes de sables fins en lames diffuses en profondeur, quelques quasiargilanes associés à des macrovides vers -10,0 mm, transition nette et ondulée,

(4) -65,0 à -70,0 mm :  $\mu$ h. sableux, grains émoussés bien classés ( $\emptyset$  médian # 0,2 mm), assemblage essentiellement intertextique, rares bandes régulières aggloméroplasmiques.

.. Dynamique actuelle

état	K1	I1	P1	CM2
sec	66,0	11,3	7,2	
humide	34,0 à 53,0	7,8	3,9	3,42

• Interprétation des observations  $\Rightarrow$  sols en leur état naturel, texture sableuse, zone sèche

Les ruissellements n'apportent pas de classement net des éléments du squelette, tout au plus découvre-t-on des reliquats de traits laminaires alternativement granulaires et intertextiques en profondeur. Deux types de concentrations plasmiques ont, par contre, été mises en évidence :

- les concentrations plasmiques superficielles, ou "épidermiques" telles que celles de la lame CT 16 par exemple, dans les surfaces exondées,
- les concentrations plasmiques profondes associées à des lits de vésicules, essentiellement dans les surfaces submersibles.

Les concentrations plasmiques profondes associées à des vésicules sus-jacents sont constantes dans les zones déprimées de la surface du sol.

Elles sont généralement peu épaisses et constituées d'une phase plasmique argilo-sesquioxhydrique continue brune en lumière naturelle et faiblement biréfringente en lumière polarisée.

Les vésicules existent même dans des microhorizons sableux grossiers où les grains du squelette de 0,2 à 0,4 mm de diamètre forment une couronne sub-continue, cette configuration se maintient malgré les aléas du prélèvement, du transport et de la préparation des échantillons ; il ne s'agit pas d'artefacts car ils peuvent être observés sur le terrain.

La limite inférieure des concentrations plasmiques est le plus souvent nette et régulière suggérant une limite brutale de condensation, dans certains cas (lame CT 11), les cristallites argilo-sesquioxhydriques sont nettement orientés vers cette limite inférieure.

Le (ou les) microhorizon(s) sous-jacent(s) ne présente(nt) ni tassement ni compaction particuliers.

Ces observations s'interprètent de la façon suivante :

.. la descente du front d'humectation amène le dégazage des porosités profondes,

.. la diffusion gazeuse se produit librement vers la surface jusqu'à ce que se constitue une sursaturation hydrique au niveau des dépressions du sol qui se remplissent d'éléments détachés, transportés localement par le courant de ruissellement et déposés à chaque phase de vidange,

.. ces éléments détachés se séparent de leur plasma pendant le transfert, celui-ci est entraîné sous forme colloïdale, l'épaisseur de la tranche de matériaux érodés (apport) ou désagregés (remaniement in situ) excède celle des accumulations observées in fine, compte tenu de leur état sursaturé pendant lequel des films d'eau entourent chaque élément du squelette,

.. la diffusion gazeuse est alors progressivement freinée, d'une part, par l'établissement de ponts plasmiques entre les grains du squelette, et, d'autre part, à cause de la lame détenue superficiellement et dont la hauteur croît pendant l'instauration du régime permanent du ruissellement, la pression de l'air diffusant vers la surface augmente alors en limite des zones sursaturées et saturées,

.. dès l'arrêt de la pluie et pendant la phase de vidange, la détente de l'air emprisonné amène une concentration verticale et ascendante des éléments mobiles contenus dans les microhorizons sursaturés, les grains les plus grossiers du squelette deviennent coalescents en premier puis, ensuite, les plus fins ; par contre, le plasma continue à migrer dans les interstices des grains ce que permet une dispersion à l'état colloïdal des argiles smectitiques des zones sèches isohumiques,

.. les vésicules se forment alors dans un matériau ressuyé et en voie de dessiccation par diffusion de l'air encore comprimé au travers ce microhorizon de concentration plasmique alors à l'état plastique, ceci est



confirmé par la présence de canalicules traversant les microhorizons (2) et (3) de la lame CT 11, l'échauffement de la surface du sol accélère et arrête ce processus par la conjonction d'une augmentation de la pression de l'air et de la cohésion du plasma,

•• pour des raisons d'empilement de grains, ces vésicules ne peuvent se former que dans des matériaux bien ou assez bien classés, donc essentiellement dans ceux résultant d'un écoulement à flux laminaire,

•• mais ces vésicules ne peuvent apparaître que dans des traits laminaires contenant suffisamment de plasma susceptible de colmater des "chambres" en jointoyant les grains ; ceci explique leur répartition en une limite diffuse entre le microhorizon sableux superficiel (généralement  $\mu\text{h.}(1)$ ) et les concentrations plasmiques ; ceci explique également la distribution de leurs diamètres, l'épaisseur de ces lits vésiculaires est surtout liée à la rapidité de la dessiccation amenant la modification des propriétés mécaniques de ces microhorizons.

Les différentes phases de développement du processus précédent ont le plus de chance de pouvoir être observées dans les zones déprimées ; elles ne sont pas ou plus détectables au niveau des zones en relief émergées qui sont uniquement soumises à l'action érosive des pluies ; ces dernières sont, par contre, le lieu de **concentrations plasmiques épidermiques** comme celles observées sur la lame CT 16 :

•• ces concentrations plasmiques épidermiques se moulent sur la surface d'abrasion des microhorizons sous-jacents érodés par le splash comme le prouvent les traces conservées des microcratères d'impact des gouttes,

•• elles se forment à l'issue des précipitations par condensation de la phase plasmique contenue dans les ultimes films d'eau ; elles peuvent être ultérieurement consolidées par des remontées de solution qui y précipitent (YAALON, 1974), par le développement d'organismes végétaux microscopiques mono- ou multicellulaires et par dessiccation (HILLEL, 1960) ; elles introduisent dans les sols sableux une cohésion superficielle importante, même pour la levée des semis, détectée par les études pénétrométriques de VALENTIN (1981),

•• ces concentrations plasmiques épidermiques restent minces, elles ne contiennent pas de vésicules et ne peuvent pas, de ce fait, être confondues avec la mise à l'affleurement des microhorizons de concentration plasmique de dégazage par érosion ; l'interruption brutale des microhorizons immédiatement sous-jacents et l'absence de relations de filiation avec ces concentrations épidermiques sont autant de critères de distinction déjà détectables en mésomorphologie et vérifiables en micromorphologie.

Jadis science "périphérique", cette micropédologie des états de surface a fourni les preuves de son intérêt surtout en ce qui concerne l'hydraulicité des sols et des volumes plus vastes dans lesquels ils s'associent. La tendance actuelle est de conforter le lien entre l'objet décrit et la dynamique dont il peut être le siège ; c'est ainsi que CASENAVE et VALENTIN (à paraître 1988) se sont employés à établir un "catalogue" des états de surface dont les caractéristiques hydrodynamiques, vérifiées par la mini-simulation de pluies (placette de  $1\text{ m}^2$ ), permettraient de mieux définir les zones contributives aux ruissellements sur petits bassins versants des zones sèches. Notre étude s'inscrivant dans un continuum d'observations réalisées depuis une dizaine d'années sur les sols de l'Afrique de l'Ouest, il nous a semblé opportun de rapprocher nos observations de celles utilisées pour une

"typologie" des organisations pelliculaires superficielles proposée par les auteurs précédents (le terme de "croûte" remplace, dans ce "catalogue" celui d'organisation pelliculaire superficielle) :

.. la "concentration plasmique épidermique" de la lame CT 16 serait assimilable à une "croûte de dessiccation",

.. la "concentration plasmique laminaire, profonde, de dégazage" serait contenue dans les "croûtes de ruissellement".

#### XV.2.2. Sols naturels sableux des zones humides

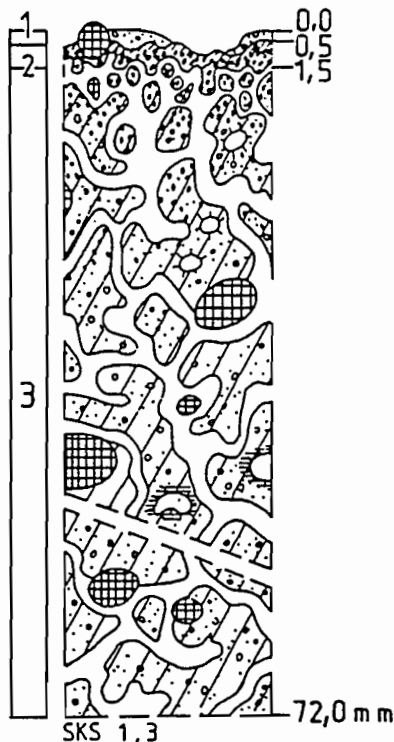
• SAKASSOU 2, sol ferrallitique, moyennement désaturé, remanié, lessivé, sur granite

.. Situation avant les averses simulées

SITE	LAME	LOCAL	SEV	AVER	EPAIS	SURF
SAKASSOU 2:	SKS 1 et:	milieu	0	0	0 à 72	plane,
	SKS 3	de				nombreux:
		parcelle:				turricu-
						les vers:

.. Description SKS 1 et 3 (planche V, photographies 1 et 2)

#### 3 microhorizons



(1) sur une épaisseur de 0,5 mm :  $\mu$ h. sableux discontinu, grains anguleux mal classés ( $\emptyset$  de 0,1 à 2,0 mm), assemblage granulaire,

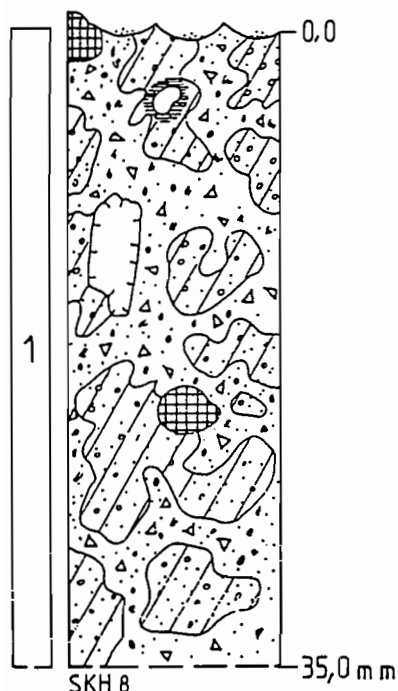
(2) -0,5 à - 1,0 ou 1,5 mm :  $\mu$ h. de concentration plasmique superficielle, limite supérieure nette d'érosion, limite inférieure diffuse et irrégulière, plasma brun sombre (LN) et peu biréfringent (LPAN) continu en limite supérieure, micro-agrégats et papules ressoudés en limite inférieure,

(4) -1,5 à - 72,0 mm : matrice sablo-faiblement argileuse, agrégée discontinue car parcourue par des chenaux anastomosés (largeur  $\#$  0,5 mm) correspondant à l'activité de la faune (vers et termites), fond matriciel sablo-faiblement argileux, grains mal classés ( $\emptyset$  de 0,08 à 1,0 mm), plasma discontinu en papules soudées, assemblage aggloméro-plasmique en sommet, porphyrosquélique à la base, rares grains déliés dans les chenaux du sommet, quelques vides intrapédiques à quasiargilanes,

.. Situation pendant la phase d'imbibition (temps utile "tu" = 15 minutes)

SITE	LAME	LOCAL	SEV	AVER	EPAIS	SURF
SAKASSOU 2:	SKH 8	milieu	29	1	0 à 35	zone
		parcelle				exondée:

.. Description SKH 8 (planche V, photographie 3)



#### 1 microhorizon

(1) 0 à -35,0 mm : la destruction des turricules prend 10 minutes, le microhorizon (3) de la lame précédente arrive à l'affleurement, traces d'impacts des gouttes en surface, le fond matriciel commence à se désagréger, la séparation plasma-squelette fournit le matériau de dislocation occupant les chenaux anastomosés : grains quartzeux anguleux grossiers, fragments plasmiques où adhèrent encore les sables fins, papules libres.

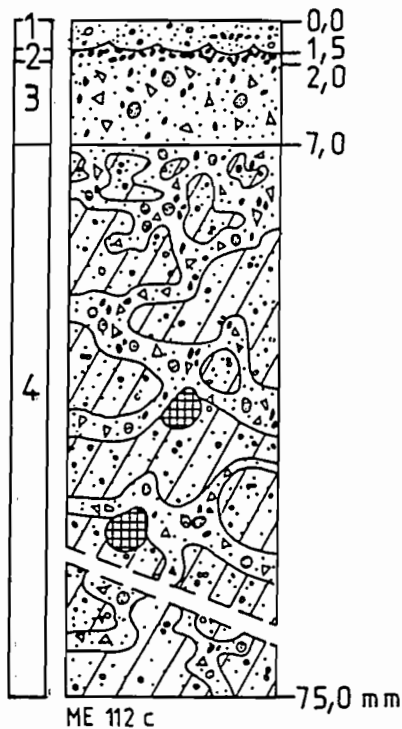
.. Situation pendant la phase d'imbibition (tu = 30 minutes)

SITE	LAME	LOCAL	SEV	AVER	EPAIS	SURF
SAKASSOU 2:	ME 112 c	milieu	44	1	0 à 75	début
		parcelle:				submers.

.. Description ME 112 c

#### 4 microhorizons

(1) 0 à 0,4 ou 1,5 mm :  $\mu$ h. sableux, grains quartzeux mal classés, papules et micro-agrégats peu nombreux et en traits laminaires, assemblage granulaire lâche,



(2) sur environ 0,5 mm d'épaisseur :  $\mu$ h. de concentration plasmique par soudure de papules, limite supérieure nette avec microcratères d'impacts de gouttes sous le  $\mu$ h. (1), limite inférieure diffuse et régulière, aucun vésicule mais vides d'entassement associés aux gros grains,

(3) -1,0 ou -2,0 à -7,0 mm :  $\mu$ h. de dislocation totale du fond matriciel, juxtaposition désordonnée de grains quartzeux mal classés ( $\phi$  de 0,1 à 0,4 mm), de papules et de micro-agrégats plus rares, transition nette et régulière,

(4) -7,0 à -75,0 mm :  $\mu$ h. de dislocation partielle du fond matriciel, îlots encore agrégés à assemblage aggloméroplasmique et chenaux irréguliers emplis des mêmes éléments que ceux du  $\mu$ h. (3) mais micro-agrégats plus nombreux.

.. Situation pendant la phase d'imbibition (tu = 45 minutes)

SITE	LAME	LOCAL	SEV	AVER	EPAIS	SURF
SAKASSOU 2	ME 112 d	milieu	68	1	0 à 75	relief
		parcelle:				faible
						submers.

.. Description ME 112 d

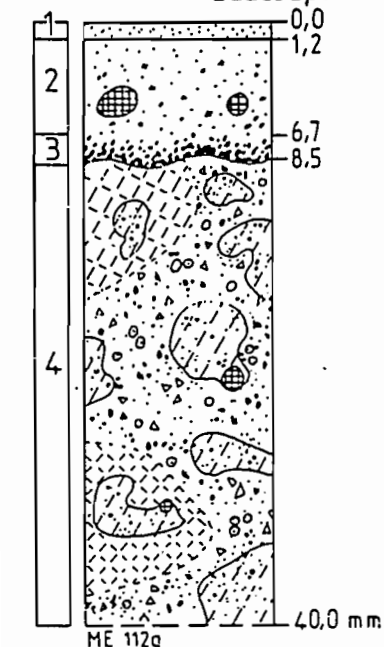
Il n'est pas certain que cette lame puisse représenter une image instantanée de l'évolution dans le temps, il s'agit plutôt d'une variante spatiale de la situation précédente (lame ME 112 c).

Le  $\mu$ h. sableux superficiel devient discontinu, il peut contenir des vésicules reposant sur le  $\mu$ h. de dislocation (type  $\mu$ h. (3) précédent) qui atteint ici 10,0 à 12,0 mm d'épaisseur, le  $\mu$ h. de concentration plasmique précédent a par contre disparu.

.. Situation pendant la phase du régime transitoire de ruissellement (tu = 105 minutes)

SITE	LAME	LOCAL	SEV	AVER	EPAIS	SURF
SAKASSOU 2	ME 112 g	milieu	160	1	0 à 40	plane
		parcelle:				submers.

.. Description ME 112 g (planche IV, photographie 4)



4 microhorizons

(1) 0 à -1,2 mm :  $\mu$ h. sableux fin, grains quartzeux bien classés ( $\emptyset$  médian # 0,08 mm), assemblage granulaire, sans vésicules, transition nette et régulière,

(2) -1,2 à -6,7 mm :  $\mu$ h. sableux grossier, grains quartzeux assez bien classés ( $\emptyset$  de 0,4 à 0,8 mm), fragments plasmiques et papules plus concentrés en limite inférieure, rare nodules sesquioxiques, assemblage granulaire lâche,

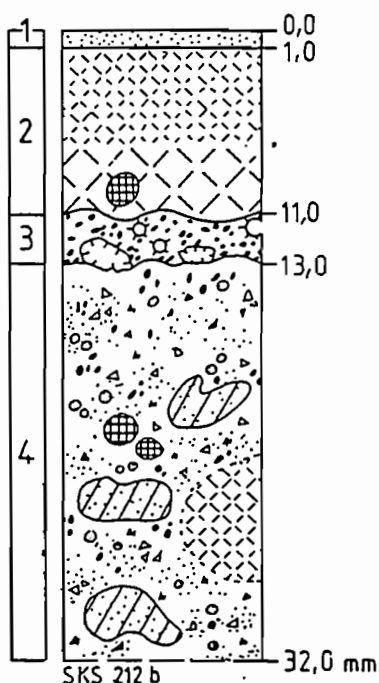
(3) -6,7 à -8,5 mm :  $\mu$ h. de concentration plasmique formé par la soudure exclusive de papules argilo-sesquioxiques brun sombre (LN), assez bien classées ( $\emptyset$  de 0,02 à 0,04 mm), rares grains quartzeux fins, sans vésicules,

(4) -8,5 à 40,0 mm :  $\mu$ h. de dislocation partielle du fond matriciel ménageant des îlots encore agrégés intertextuels à agglomératoplasmiques, grains quartzeux, fragments plasmiques, papules et micro-agrégats non liés subissent un début de réticulation.

.. Situation pendant la phase du régime permanent du ruissellement (deuxième averse, tu = 13 minutes)

SITE	LAME	LOCAL	SEV	AVER	EPAIS	SURF
SAKASSOU 2	SKS 212 b	milieu	197	2	0 à 32	plane
		parcelle				submers.
						générale

.. Description SKS 212 b (planche V, photographies 4 et 5)



4 microhorizons

(1) 0 à -1,0 mm :  $\mu$ h. sableux fin, grains quartzeux anguleux bien classés, assemblage granulaire lâche,

(2) -1,0 à -1,0 mm :  $\mu$ h. sableux et plasmique, grains quartzeux mal classés ( $\emptyset$  de 0,1 à 1,2 mm) et papules ( $\emptyset$  médian de 0,08 mm) entièrement déliés, fond matriciel totalement réticulé en mailles étroites en sommet ( $\emptyset$  de 0,5 mm) à parois minces et à mailles larges ( $\emptyset$  médian de 1,0 mm) vers la base et à parois épaisses constituées par des regroupements de papules et de grains quartzeux jusqu'à 0,5 mm de diamètre, transition nette et légèrement ondulée,

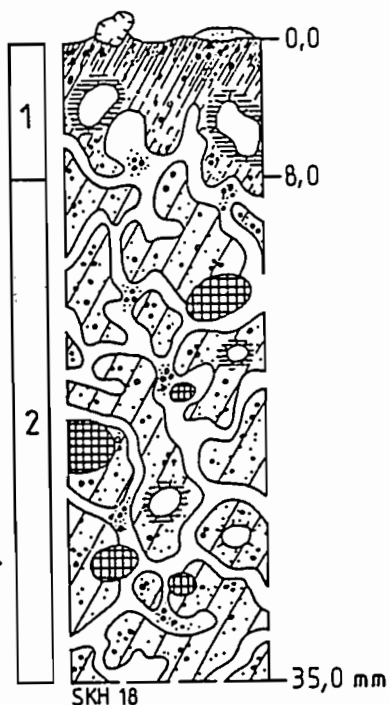
(3) -11,0 à -13,0 mm :  $\mu$ h. de concentration plasmique constituée de papules jointives non soudées ( $\emptyset \approx 0,04$  mm), rares vésicules dans la masse de ce  $\mu$ h., grains de quartz grossiers alignés en limite inférieure qui est nette et régulière,

(4) -13,0 à -32,0 mm :  $\mu$ h. de dislocation matricielle quasi totale, grains quartzeux, papules et micro-agrégats déliés, rares îlots de matrice encore agrégée à assemblage aggloméroplasmique, par endroit réticulation des éléments déliés en mailles fines à parois minces.

•• Situation pendant la phase du régime permanent du ruissellement (fin des essais)

SITE	LAME	LOCAL	SEV	AVER	EPAIS	SURF
SAKASSOU 2:	SKH 18	milieu	1000	11	0 à 35	sommet
		parcelle				ondulat.
	SKH 17	milieu	1000	11	0 à 40	fond
		parcelle				dépress.

#### •• Description SKH 18



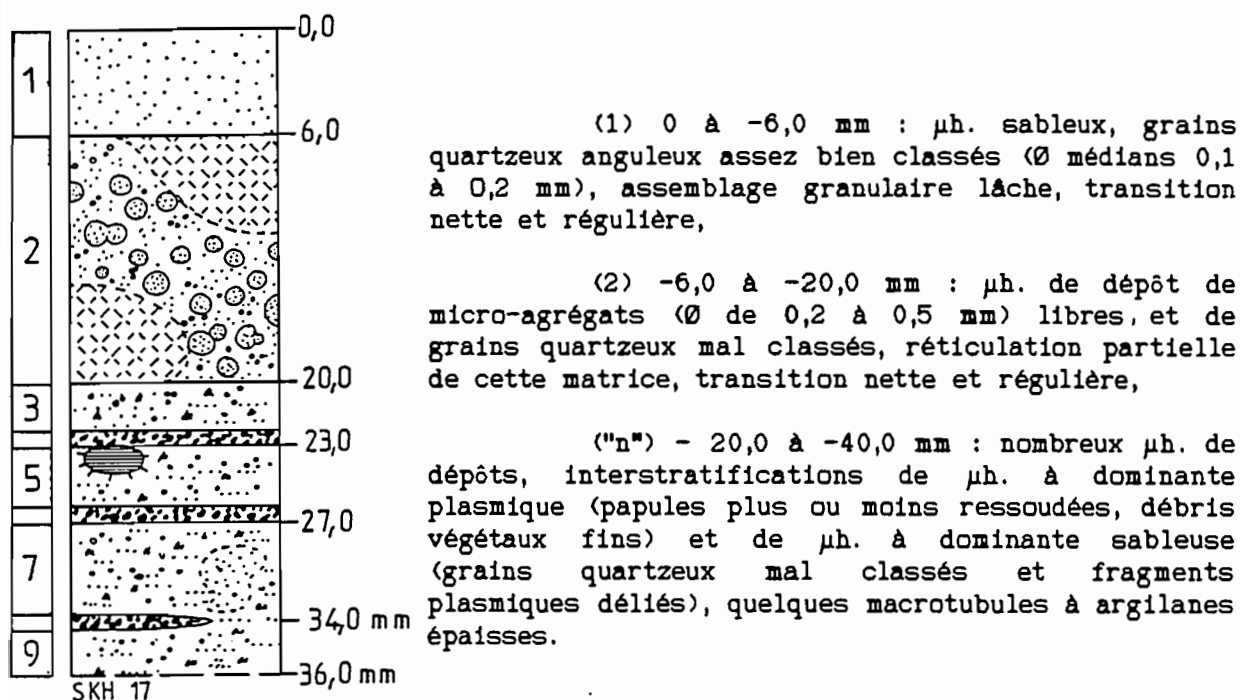
#### 2 microhorizons.

(1) 0 à -5,0 ou -8,0 mm :  $\mu$ h. de concentration plasmique continue, fusion partielle des micro-agrégats et papules, concentration plasmique plus dense en sommet, argilanes dans les macrobiotubules, limite inférieure nette et irrégulière à interrompue,

(2) -5,0 ou -8,0 à -35,0 mm : rappelle le  $\mu$ h. (3) de la première lame SKS 1, fond matriciel agrégé discontinu, nombreux chenaux larges et anastomosés, rares grains quartzeux grossiers dans ces vides, matrice agrégée à assemblage aggloméro- à porphyroplasmique, quelques vides intrapédiques à quasiargilanes.

#### •• Description SKH 17

2 + "n" microhorizons



.. Dynamique actuelle de la parcelle SAKASSOU 2

état	K1	I1	P1	CM2
sec	100	25	> 100	
humide	36 à 62	50	4	2,20

• Interprétation des observations sur les sols des zones humides, en leur état naturel, et de texture sableuse

L'échelonnement des prélèvements tout au long des essais, et surtout leur multiplication pendant la première averse, permettent de relier les formations et transformations des organisations pelliculaires aux différentes contraintes issues des pluies et des courants de ruissellement.

.. Etat initial (lames SKS 1 et SKS 3)

En surface subsiste un microhorizon de dessiccation provenant de la soudure de papules et de la fusion des turricules lors des ultimes averses de la saison des pluies précédente. En profondeur, les activités des vers et des termites ont taraudé le fond matriciel de chenaux généralement vides conférant à l'horizon A1 une très forte porosité.

.. Première averse et phase d'imbibition (lames SKH 8, ME 112 c et ME 112 d)

La surface s'érode par l'effet du splash, la mince concentration plasmique superficielle est éliminée, la matrice agrégée et taraudée affleure, de nombreuses porosités tubulaires larges débouchent sur la surface, ceci est

confirmé par les traces d'impacts de gouttes et explique une infiltration totale pour une averse à 62,6 mm/h. Il se produit ensuite une désagrégation superficielle du fond matriciel par effet splash et une dislocation plus profonde, par hydratation des agrégats, celle-ci est amplifiée par la transmission des vibrations issues des impacts superficiels. Les éléments en résultant comblent alors peu à peu les chenaux en voie d'élargissement par séparation du fond matriciel (SKH 8), il se constitue un microhorizon spécifique de ce processus (ME 112 c et ME 112 d). Celui-ci s'épaissit avec la descente de ce que l'on pourrait assimiler à une "onde de dislocation".

Simultanément l'infiltration se poursuit, dans un matériau toujours très poreux, entraînant une forte diffusion gazeuse qui débouche librement sur la surface dépourvue de dépôts et sans lame ruisselante.

•• Première averse et instauration des premiers ruissellements (lame ME 112 g)

Les premiers ruissellements apportent des dépôts peu épais de grains bien classés (ME 112 g), la lame d'eau contrarie la diffusion gazeuse. La pression de l'air augmente localement, amenant un début de réticulation des éléments déliés provenant de la dislocation matricielle. Cette réaction est la traduction, en zone ferrallitique, du même processus fournissant les porosités vésiculaires en zone sèche isohumique.

La phase plasmique tend ainsi à se rassembler sous la forme d'un trait laminaire plus ou moins dense, ou encore sur les mailles d'un microhorizon de réticulation, second trait micromorphologique lié à la nature particulière de la phase plasmique des sols ferrallitiques des anciennes surfaces (KORHOGO et SAKASSOU amont par exemple).

Contrairement aux argiles à dominante **smectitique** des sols isohumiques, les argiles essentiellement **kaolinitiques** des sols ferrallitiques anciens sont l'objet d'une **pectisation** le plus souvent renforcée par l'adsorption d'oxy-hydrates de fer sur les faces externes des cristallites. Ces argiles se dispersent dès lors difficilement et forment des granules de dimension avoisinant celle des limons ( $\varnothing$  de 0,05 à 0,08 sur SAKASSOU par exemple) et uniquement argilo-sesquioxydiques (papules) ou contenant des éléments fins du squelette (micro-agrégats).

Ces granules plasmiques peuvent encore s'insinuer entre les grains quartzeux mal classés des sols sur granite sous l'effet de la gravité mais aussi et surtout s'y réagencer sous l'effet de la détente gazeuse expliquant la réticulation du matériau de dislocation.

•• Seconde averse et instauration du régime permanent du ruissellement (lames SKS 212 a, SKS 212 b)

La désagrégation du fond matriciel gagne plus lentement la profondeur (microhorizons (4) de SKS 212 b), mais la diffusion gazeuse se poursuit assez facilement à travers le microhorizon de concentration plasmique constitué d'éléments non encore jointifs. Une réticulation du fond matriciel délié intervient au dessus de ce dernier qui continue à se concentrer par la base avec ou sans soudure des granules plasmiques selon leur degré de pectisation.



Le diamètre des mailles du microhorizon réticulé est directement lié à l'étanchéité gazeuse des parois donc à leur teneur en éléments plasmiques. Ceci est particulièrement net sur la lame SKS 212 b (photos.4 et 5, planche V).

Cette micro-organisation aboutit à la constitution d'horizons superficiels "soufflés" de faible portance qui sont très caractéristiques des sols sableux à sablo-faiblement argileux des savanes humides du domaine ferrallitique. Ces horizons ont une porosité totale élevée sur les premiers centimètres mais celle-ci est non ou peu fonctionnelle puisqu'il s'agit de vides vésiculaires sensu stricto. L'infiltrabilité y est cependant sans cesse restaurée car ces édifices sont très fragiles, les horizons qui les contiennent sont en effet facilement érodés comme le prouve l'observation des différentes lames minces issues des prélèvements en continu sur SAKASSOU 2.

On explique ainsi, d'une part, les irrégularités des régimes d'infiltration sur SAKASSOU (cf. paragraphe XIII.2.2. et figure V.5 f), et, d'autre part, les importantes variations de détachabilité entraînant l'apparition de fortes érosions en nappe ou de très fortes érosions concentrées (cf. paragraphe XIII.3.2.2. de cette cinquième partie).

#### •• Averses ultérieures (lames SKH 17 et SKH 18)

Les lames provenant d'échantillons prélevés au-delà des cinquièmes ou sixièmes averses ne permettent plus de détecter les processus préliminaires de genèse des organisations pelliculaires superficielles. Celles-ci sont soit érodées en sommet d'ondulation de terrain (SKH 18), soit dégradées ou enfouies sous une interstratification de dépôts de ruissellement (SKH 17). Le retour à la situation initiale nécessite alors des temps d'arrêt suffisamment longs pour que l'activité de la faune du sol puisse recréer les situations observées sur les premières lames de cette série (SKS 1 et SKS 3).

Sur les zones en relief, on note un épaissement important des concentrations plasmiques superficielles passant sans transition à la matrice agrégée et taraudée ; il s'agirait selon CASENAVE et VALENTIN (à paraître 1988) d'une "croûte d'érosion".

Dans les dépressions se succèdent des dépôts en gros alternativement plasmiques et sableux répercutant les alternances d'apports et de décantations. Les vicissitudes des détachements et transports d'éléments par le courant de ruissellement peuvent être occasionnellement caractérisées sur certaines lames, et notamment sur SKH 17, où il est vraisemblable que le microhorizon (2), essentiellement constitué de micro-agrégats, correspond à une phase d'abrasion suffisamment active et profonde pour pouvoir dégager et entraîner des éléments d'un fond matriciel agrégé et taraudé provenant d'horizons affleurant plus en amont.

Au bilan, il apparaît que, dans les sols sableux et sablo-faiblement argileux des zones humides, l'érosion est susceptible de restaurer continuellement l'infiltrabilité. Ceci n'est, par contre, pas le cas des sols de texture équivalente des zones sèches où le colmatage s'établit de façon durable pendant la saison des pluies. On a vu que cette distinction des comportements était essentiellement liée à la nature minéralogique des argiles donc aux modalités de leur dispersion.

*XV.2.3. Sols naturels, argilo-sableux, smectitiques, des zones sèches*

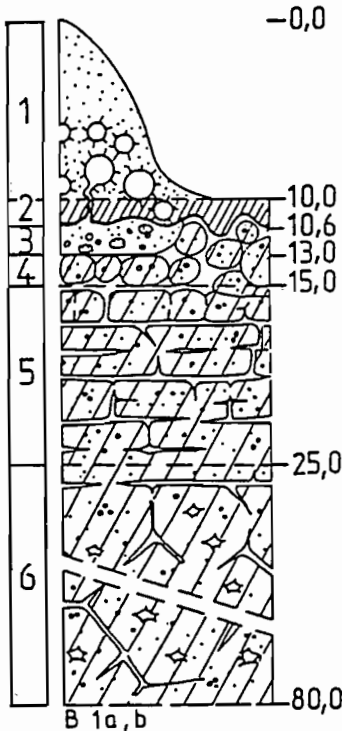
• OURSI 2, sol isohumique, brun sub-aride vertique, sur amphibolite

• Situation avant les averses simulées

SITE	LAME	LOCAL	SEV	AVER	EPAIS	SURF
OURSI 2	B 1 a,b:	hors	0	0	0 à 70:	plane et
		parcelle				dénudée
	B 2 a,b:	hors	0	0	0 à 80:	plane et
		parcelle				ensablée

• Description B 1 a, b (planche II, photographie 3)

6 microhorizons



(1) 0 à -10,0 mm :  $\mu$ h. sablo-argileux discontinu, grains quartzeux bien classés ( $\emptyset$  médian # 0,2 mm), assemblage granulaire à intertextique, nombreuses vésicules dont certaines communiquent au travers du  $\mu$ h. 2 avec le  $\mu$ h. 3, transition diffuse et régulière,

(2) -10,0 à - 10,6 mm :  $\mu$ h. de concentration plasmique affleurant par endroit, plasma continu, vésicules, limite inférieure nette (si  $\mu$ h. 3) ou ondulée à interrompue (si  $\mu$ h. 4 directement sous-jacent),

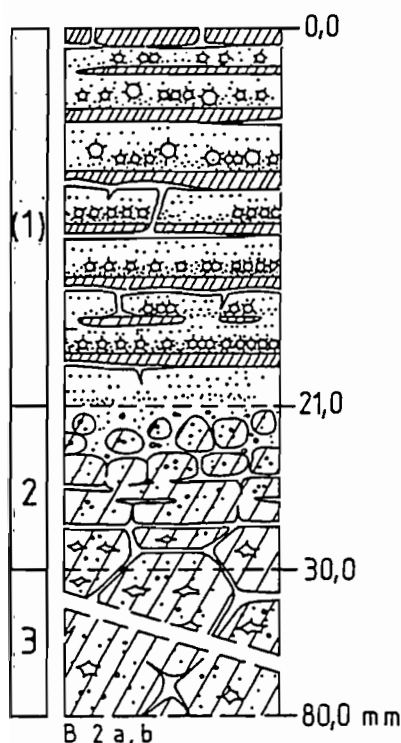
(3) -10,6 à -13,0 :  $\mu$ h. sableux, discontinu, présence liée à  $\mu$ h.1, grains mal classés, émoussés ( $\emptyset$  de 0,12 à 0,80 mm) et quelques micro-agrégats, aucun trait laminaire,

(4) -1,6 ou -10,6 à -5,0 ou -15,0 mm : agrégats non soudés en dépôts provenant de la désagrégation du  $\mu$ h. 5 ( $\emptyset$  de 0,5 à 1,5 mm), transition nette et régulière,

(5) -5,0 ou -10,0 à -15,0 ou -25,0 mm :  $\mu$ h. argilo-sableux, matrice porphyrosquélique parcourue de fissures régulières (larg. # 0,05 à 0,08 mm), d'où débit en lames de 2,0 à 3,0 mm d'épaisseur, squelette sableux mal classé non stratifié, plasma lattisépique (LPAN), transition diffuse et régulière,

(6) -15,0 ou -25,0 à -70,0 ou -80,0 mm :  $\mu$ h. argilo-sableux, matrice porphyrosquélique fissurée en cubes et polygones, nombreux vides intrapédiques à section étoilée, squelette quartzeux en grains mal classés et non stratifiés.

•• Description d'une variante correspondant aux surfaces ensablées :  
 lame B 2 a, b (planche IV, photographie 5)



### 3 microhorizons

(1) 0 à -21,0 mm : interstratification de quelque 10 lames plasmiques et sableuses correspondant à autant de systèmes de décantation, les traits plasmiques surmontant les traits limono-sableux, lames individualisées par des fissures régulières, rares fissures orthogonales et obliques, lits vésiculaires associés aux sables, transition diffuse et régulière,

(2) -21,0 à -30,0 :  $\mu$ h. d'agrégats ovoïdes et en lames, matrice argileuse porphyrosquélique, vides interpédiques remplis de grains quartzeux mal classés, vides intrapédiques de section étoilée, transition diffuse et régulière,

(3) -30,0 à -80,0 mm : identique au  $\mu$ h. 6 de la lame B 1.

### • Situation pendant les averses simulées

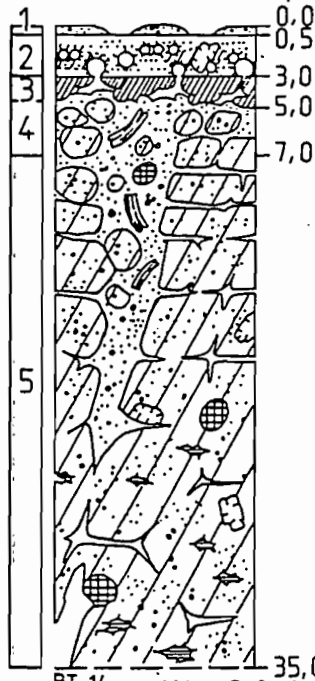
SITE	LAME	LOCAL	SEV	AVER	EPAIS	SURF
OURSIS 2	BT 13	aval	118	4	0 à 30:	sommet
		parcelle				ondulation:
	BT 14	aval	118	4	0 à 35:	zone
		parcelle				submersible:

### •• Description BT 13 (proximité d'une fissure verticale) 4 microhorizons

(1) 0 à -1,0 mm :  $\mu$ h. de concentration plasmique liée à la dessiccation, plasma dense en surface, discontinu en lamelles rebroussées, lit de vésicules en limite inférieure, transition souvent diffuse par soudure avec les agrégats sous-jacents,

(2), (3), (4) -1,0 à -30,0 mm : distribution des  $\mu$ h. identique à celle de la lame B 1 a, b par fragmentation de la matrice porphyrosquélique en cubes, lames puis agrégats arrondis vers la surface ; la fissure verticale est remplie d'éléments autochtones (agrégats et micro-agrégats porphyrosquélique, fragments de copeaux de dessiccation) et d'éléments allochtones (grains quartzeux éoliens fins et sables grossiers anguleux) ; accentuation de la fissuration horizontale à partir des fissures verticales.

•• Description BT 14 (proximité d'une fissure verticale)



5 microhorizons

(1) 0 à -0,5 mm :  $\mu$ h. sableux discontinu, grains mal classés, assemblage granulaire, transition nette et régulière,

(2) -0,5 à -3,0 mm :  $\mu$ h. sablo-argileux, quelques traits laminaires réguliers alternativement plus sableux et plus argileux, nombreux vésicules alignés, engagés dans la limite des  $\mu$ h. 2 et 3 et communiquant avec le  $\mu$ h. 4 par des canalicules, transition nette et régulière,

(3) sur environ 0,5 à 1,0 mm d'épaisseur :  $\mu$ h. de concentration plasmique continu recouvrant notamment les fissurations verticales profondes, transition nette et régulière soulignée par un alignement de vides à section étoilée communiquant avec les vésicules du  $\mu$ h. 2,

BT 14 (4) -3,0 à -7,0 mm : agrégats arrondis ( $\varnothing$  de 0,5 à 1,0 mm) et lames argilo-sableuses, assemblage porphyrosquélique, macrovides en chenaux et fissures partiellement remplis d'éléments autochtones et allochtones,

(5) -7,0 à -35,0 mm : matrice agrégée argilo-sableuse à assemblage porphyrosquélique, fissuration régulière en sommet, orthogonale et régulière en bas, orthotubes de section étoilée remplis de plasma brun clair (LN) tranchant sur la matrice brun sombre.

•• Dynamique actuelle d'OURSI 2 (état naturel)

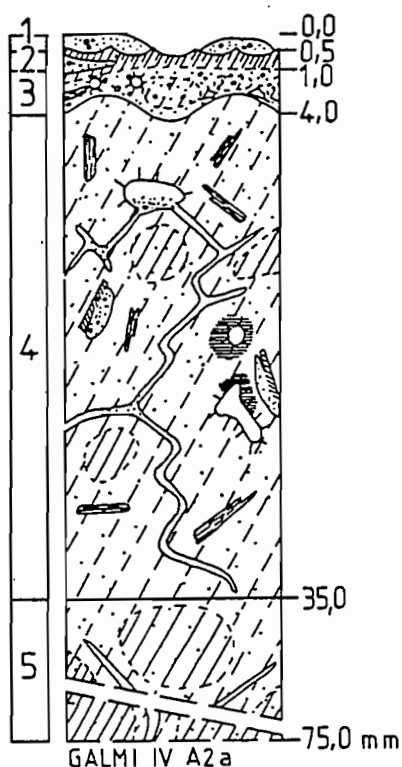
état	K1	I1	P1	CM 2
sec	24,6 à 34,7	2,7	4,0 à 5,3	
humide	10,8 à 20,1	1,6	1,1 à 3,3	2,36

• GALMI 4 , sol isohumique, brun sub-aride, vertique, sur alluvions et colluvions de comblement de vallée

•• Situation avant les averses simulées

SITE	LAME	LOCAL	SEV	AVER	EPAIS	SURF
GALMI 4	GALMI IV:	hors	0	0	0 à 75:	plane et
	A 2 a	parcelle				dénudée

# .. Description GALMI IV A 2 a



## 5 microhorizons

(1) 0 à -0,5 mm :  $\mu$ h. limono-sableux discontinu, grains quartzeux anguleux à émoussés, mal classés ( $\emptyset$  de 0,04 à 0,12 mm), assemblage granulaire, transition nette et régulière,

(2) -0,5 à -1,0 mm :  $\mu$ h. de concentration plasmique, traces d'impacts de gouttes, plasma très dense et orienté en surface (LPAN), moins concentré en profondeur, transition diffuse et régulière,

(3) -1,0 à -4,0 mm :  $\mu$ h. limono-sableux et limono-argileux, îlots ovoïdes plus argileux à limites diffuses et à assemblage intertextique, reste de la matrice plus grossier à assemblage granulaire, grains mal classés, rares macrovides en étoile et rares vésicules, transition nette et ondulée,

(4) -4,0 à -35,0 mm :  $\mu$ h. limono-argileux, matrice intertextique parcourue par un réseau de fissures orthogonales et obliques (larg. de 0,1 à 1,0 mm) généralement vides, nombreuses lamelles d'argilites sédimentaires (lithoreliques), fragments

de copeaux de dessiccation, sans orientations, assemblage aggloméroplasmique en îlots de 10,0 à 12,0 mm, rares macrotubes à quasicutanes, transition diffuse et régulière,

(5) -35,0 à -75,0 mm :  $\mu$ h. argilo-limoneux, matrice porphyrosquélique parcourue par des fissures, assemblage devenant intertextique à proximité des fissures.

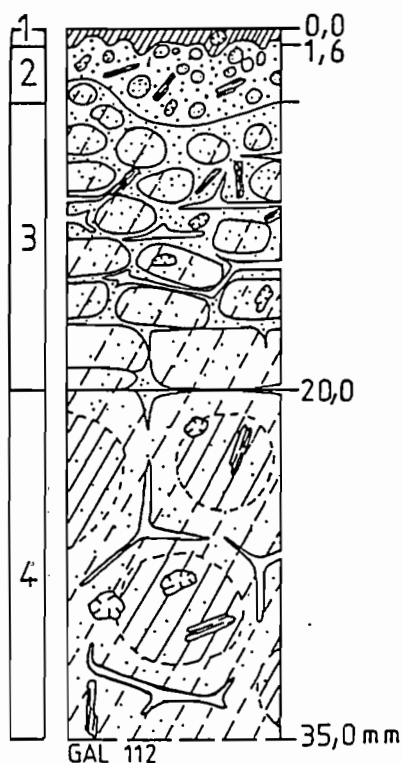
.. Situation pendant la première averse simulée, phase du régime permanent du ruissellement

SITE	LAME	LOCAL	SEV	AVER	EPAIS	SURF
GALMI 4	GAL 112	amont	90	1	0 à 35	sommet
		parcelle				ondulation
	GAL 110	amont	90	1	0 à 40	drain
		parcelle				(dépress.)

## .. Description GAL 112

### 4 microhorizons

(1) 0 à -0,4 ou -1,6 mm :  $\mu$ h. de concentration plasmique superficielle, plasma dense et orienté en surface (LPAN), limite inférieure nette, irrégulière à interrompue,



(2) -0,4 ou -1,6 à -3,0 ou -5,0 mm :  $\mu$ h. limoneux grossier, rares grains grossiers, assemblage granulaire, micro-agrégats nombreux dont certains adhérent à la base du  $\mu$ h.1 ( $\emptyset$  de 0,2 à 0,8 mm), nombreuses lames d'argilites sans orientations, transition nette et ondulée,

(3) -3,0 ou -5,0 à -20,0 mm :  $\mu$ h. contenant environ 50 % d'agréats ovoïdes limono-argileux à assemblage intertextique et 50 % d'une phase squelettique limono-sableuse à assemblage granulaire parcourue par des fissures régulières, lithoreliques désordonnées, transition nette et régulière,

(4) -20,0 à -35,0 mm :  $\mu$ h. argilo-limoneux grossier, rares grains grossiers, matrice à assemblage intertextique et îlots agglomératifs parcourue par un réseau de fissures régulières et obliques, nombreuses lithoreliques désordonnées.

.. Variante, également pendant la première averse, sur une surface submersible : description

Dépôts de décantation interstratifiés sur environ 25,0 mm au dessus de microhorizons de type 3 puis de type 4 rappelant ceux de la lame GAL 112.

.. Dynamique actuelle de GALMI 4 en l'état naturel

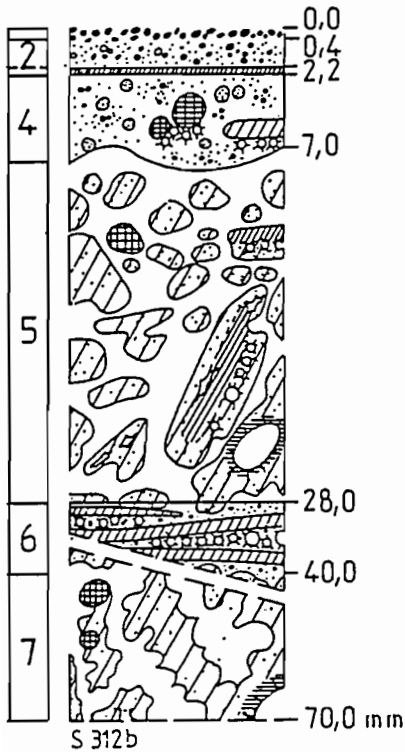
état	K1	I1	P1	CM2
sec	60,1	-	10,6	
humide	10,8 à 29,8	10,6	1,0 à 2,8	2,61

• BATANGA 1 , sol brun eutrophe, vertique, sur colluvions de roches vertes

.. Situation avant les averses simulées

SITE	LAME	LOCAL	SEV	AVER	EPAIS	SURF
BATANGA 1	S 312 b	hors	0	0	0 à 70	plane
	et	parcelle				
	S 311 c					

.. Description S 312 b et S 311 c



7 microhorizons

(1) 0 à -0,4 mm :  $\mu$ h. de granules plasmiques (papules) arrondis, homogènes, non soudés ( $\emptyset$  de 0,08 à 0,3 mm), en lit discontinu,

(2) -0,4 à -2,0 mm :  $\mu$ h. sableux, grains quartzeux dominants mal classés ( $\emptyset$  de 0,08 à 0,25 mm) et papules ( $\emptyset$  médian  $\approx$  0,04 mm), assemblage granulaire, transition nette et régulière,

(3) sur une épaisseur de 0,2 mm :  $\mu$ h. de concentration plasmique, plasma continu et papules ressoudées, transition nette et régulière,

(4) -2,2 à -7,0 mm :  $\mu$ h. sableux, grains quartzeux, anguleux, mal classés ( $\emptyset$  de 0,2 à 0,6 mm), rares nodules sesquioxhydiques à vésicules sous-jacents, quelques micro-agrégats ( $\emptyset \approx$  0,4 mm), assemblage granulaire lâche, un trait laminaire correspondant à un reliquat de lame de décantation (pédorelique), transition nette et ondulée,

(5) -7,0 à -28,0 mm :  $\mu$ h. intensément remanié par la faune à l'état ressuyé, agrégats arrondis ( $\emptyset$  de 0,4 à 1,0 mm), lames de pédoreliques désordonnées à matrice porphyrosquélisque et plasma lattisépique (LPAN) taraudée de vides à section étoilée, larges biotubes ( $\emptyset \approx$  1,0 mm) à quasiargilanes sombres (LN), transition nette et régulière,

(6) -28,0 à -40,0 mm :  $\mu$ h. représenté par un système de décantation en lames interstratifiées parfois obliquement, lamines sableuses souvent très vésiculaires, transition diffuse et régulière,

(7) -40,0 à -70,0 mm :  $\mu$ h. non remanié par le ruissellement, matrice agrégée argilo-limoneuse, assemblage porphyrosquélisque, grains quartzeux mal classés, extrêmement taraudée en chenaux de largeur variable (larg. de 0,5 à 1,0 mm), vides, aucun trait laminaire, biotubules à quasiargilanes ( $\emptyset$  2,0 mm).

.. Situation à l'issue de la douzième averse

SITE	LAME	LOCAL	SEV	AVER	EPAIS	SURF
BATANGA 1	H 314 b	milieu	422	12	0 à 50	plane
	H 314 c	parcelle				

.. Description H 314 b et c

"n" microhorizons

("n") sur 27,0 mm : interstratification d'environ 20 lames de décantation, les lames plasmiques du sommet sont essentiellement argileuses continues, celles de la base contiennent progressivement plus de papules et de micro-agrégats ressoudés, le diamètre des papules augmente régulièrement de haut en bas ( $\emptyset$  passant ainsi de 0,04 mm à 0,28 mm), lames sableuses constituées de grains quartzeux mal classés ( $\emptyset$  de 0,08 à 0,2 mm), quelques biotubes recoupant les stratifications à quasiargilanes épaisses, transition nette et ondulée,

(2) -27,0 à -50,0 mm :  $\mu$ h. argilo-limono-sableux, grains anguleux mal classés ( $\emptyset$  de 0,04 à 0,3 mm), assemblage porphyrosquélique, taraudé de chenaux très contournés sans orientations préférentielles (larg. de 0,2 à 0,5 mm) et surimposés sur d'anciens traits laminaires (fissures à néosquelétanes), rares macrobiotubules ( $\emptyset$  # 5,0 mm) à quasicutanes épaisses.

.. Dynamique actuelle de BATANGA en l'état naturel

état	Ki	I1	P1	CM2
sec	88,4	-	8,9	
humide 1*	70,0 à 86,0	7,3	2,1	1,09
humide 2*	25,0 à 48,0	2,2	1,5	
* deux régimes d'infiltration, avant et après la fermeture des larges fissures verticales.				

• Interprétation des observations  $\Rightarrow$  sols en leur état naturel, argilo-sableux, smectitiques, zones sèches

Au niveau des surfaces submersibles, les sols isohumiques et bruns eutrophes vertiques présentent tous deux 20 à 40 mm d'interstratifications de lames de décantation. En profondeur, par contre, les organisations diffèrent d'une classe à l'autre.

Les sols bruns sub-arides vertiques (OURSI 2, GALMI 4 p. ex.) développent depuis leur surface autant de traits laminaires qu'il y a de ruissellements. Chaque trait laminaire est constitué d'une concentration plasmique, d'un dépôt sableux mal classé puis d'un lit de sables grossiers. Ce classement granulométrique vertical respecte un ordre de décantation des dépôts de ruissellement : le lit sableux médian correspond, quant à lui, à des éléments structuraux qui ont poursuivi leur désagrégation pendant le transport. Ce lit sableux médian, de grains mal classés, contient souvent les plus fortes concentrations vésiculaires dont l'origine est liée, non pas à des processus de dégazage profond, mais à l'emprisonnement d'air piégé lors du transport et du dépôt. Les dépôts plasmiques superficiels fournissent en séchant des copeaux de dessiccation dont la maille de fissuration reproduit souvent celle des fentes verticales plus profondes.

En profondeur, soit vers -20 ou -30 mm, apparaissent les traits structuraux de matériaux non rapportés ; les structures lamellaires correspondent à la tranche qui atteint, chaque année, la limite de liquidité et fournit



les éléments colloïdaux transportables (cf. paragraphe XIII.4.4. de cette cinquième partie). Cet horizon subit donc un réagencement de sa phase plasmique créant notamment des joints fissiles. Sa dessiccation fournit des lames de 5 à 7mm d'épaisseur interrompues par les fissurations verticales. Son affleurement se traduit par une fragmentation supplémentaire en agrégats souvent séparés par des sables éoliens actuels (lame BT 13 p. ex.).

**Plus profondément**, soit à partir de 70 à 100 mm, l'humectation ne dépasse pas, en année normale, la limite de plasticité au moins en s'éloignant des parois des fissures. La dessiccation de cet horizon tend à isoler, cette fois, des mottes cubiques puis polyédriques d'où se délitage d'ailleurs les lames précédentes. Cette dessiccation amène aussi une multitude d'amorces de fissurations intrapédiques qui ont été désignées par le terme de "vides de section étoilée", forme traduisant des variations de volume apparent dans un matériau isotrope, caractéristique confirmée par une phase plasmique peu ou non orientée (LPAN).

Il est intéressant de suivre les évolutions granulométriques et structurales des **zones situées au contact des fissurations verticales** (lames BT 13 et 14 p. ex.) :

- pendant la saison sèche, ces fissures se combleraient de sables et de fragments de copeaux de dessiccation, elles piègent aussi les graines de la strate herbeuse,

- dès les premières pluies, la phase d'imbibition est trop courte pour pouvoir constater d'importantes modifications d'organisation, tout au plus y note-t-on une fonte des agrégats superficiels; les copeaux de dessiccation s'y retrouvent souvent en l'état (ultradessiccation ?),

- les premiers ruissellements amènent le scellage hermétique des fissures débouchant initialement sur la surface (lame BT 14) puis les dépôts interstratifiés argilo-sableux.

L'humectation profonde des sols par le réseau de fissures n'est donc pas aussi efficace que ce que l'on pourrait supposer. Ceci se confirme d'ailleurs par l'absence de cutanes sur les parois profondes de ces fissures, tout au plus découvre-t-on quelques néoargilanes plus clairs que le fond plasmique de la matrice au niveau des tubes à section étoilée (lames BT 14 et GALMI IV A 2). Ces sols sont soumis à une dynamique saisonnière des plus superficielles en **année normale**. Les conditions d'une humectation profonde ne peuvent être réunies que dans le cas d'un étalement des précipitations avec des intensités relativement faibles en début de saison des pluies ne dépassant pas les intensités limites II (cf. tableau "dynamique actuelle") pour empêcher le colmatage des fissures par la phase plasmique. Les traits structuraux profonds (50 à 100 cm) observés sur les fosses pédologiques (cf. description en annexe) traduisent donc des évolutions qu'il est difficile, sinon impossible, d'expliquer en tenant compte des conditions pluviométriques actuelles.

Le processus de dégazage des porosités profondes amenant le déplacement du plasma n'a aucune chance de se réaliser sur ces sols passant d'une siccité extrême à l'engorgement en un temps très court et sur une faible épaisseur. Les vésicules observés dans les lames sableuses superficielles

proviennent de l'air contenu dans les vides intergranulaires pendant le transport et emprisonné par le dépôt des lames argileuses sus-jacentes. Sa détente est faible car sa compression est faible; la cohésion du plasma concentré et homogène est forte, aussi n'y a-t-il pas, ou peu, de réagencements plasmiques tels que ceux observés dans les sols sableux ou sablo-faiblement argileux du même domaine pédoclimatique.

Les sols bruns eutrophes vertiques (BATANGA) présentent des caractéristiques méso- et microstructurales qui les différencient sensiblement des sols précédents :

• les phases plasmiques des dépôts de décantation sont essentiellement formées par la soudure de micro-agrégats ou de papules ce qui est un signe d'une plus forte stabilité structurale. Mais il peut également s'agir d'une action pectisante des oxy-hydrates de fer (on est déjà, en effet, dans le domaine des sols ferrugineux),

• le fond matriciel des horizons de profondeur (lame H 314 b et c, p. ex.) est intensément trituré par une activité biologique liée à la mise en culture répétée (coton et sorgho sur BATANGA) et encore perceptible à -10 ou -15cm,

• cette porosité biologique et les fentes de retrait sont à l'origine du double régime d'infiltration observé sur ces sols brunifiés vertiques en début de saison des pluies (cf. tableau "dynamique actuelle"). La plus forte infiltration ( $K_i \# 80 \%$ ) correspond à l'humectation des espaces poreux superficiels précédents, alors que les fissures ne sont pas encore colmatées. Le second régime ( $K_i \# 35 \%$ ), qui se manifeste brutalement, signale la fermeture des fissures.

Contrairement aux sols isohumiques vertiques des zones sahéliennes, totalement lissés et aplanis en saison des pluies, les sols brunifiés vertiques et les vertisols sensu stricto gardent un micromodelé caractéristique des alternances d'humectation et de dessiccation plus profondes. Il en résulte une distribution des surfaces en zones continuellement submergées et en zones non submersibles même au plus fort de la saison des pluies.

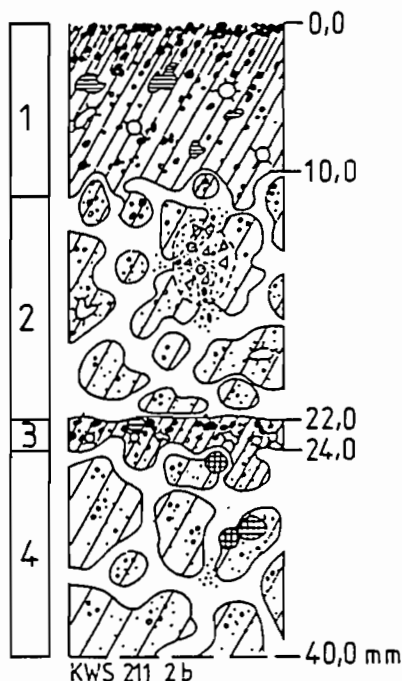
#### *XV.2.4. Sols naturels argilo-sableux kaolinitiques des zones humides*

• KORHOGO 1, sol ferrallitique, moyennement désaturé, remanié avec recouvrement, sur granite

• Situation à l'issue de la deuxième averse simulée

SITE	LAME	LOCAL	SEV	AVER	EPAIS	SURF
KORHOGO 1	KWS 211	amont	233	2	0 à 40	dépression
	2 a	parcelle				
	KWS 211	milieu	233	2	0 à 40	sommet
	2 b	parcelle				ondulation

•• Description KWS 211 2 b



4 microhorizons

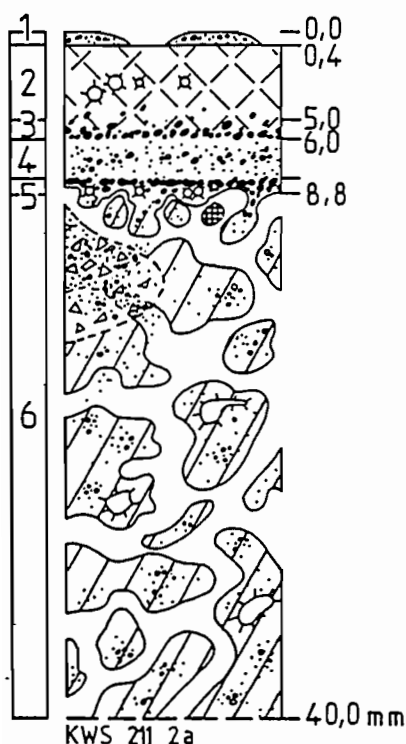
(1) 0 à -10,0 mm :  $\mu$ h. argilo-sableux, épaisse concentration plasmique superficielle, fusion et soudure de papules en sommet ( $\approx 1,4$  mm), granules plasmiques plus nettement individualisables à la base, grains quarzeux anguleux mal classés, néoargilanes claires (LN) dans la masse, rares vésicules, limite inférieure diffuse et régulière par augmentation de la porosité,

(2) -10,0 à -22,0 mm :  $\mu$ h. argilo-sableux, matrice porphyrosquélique taraudée par l'activité biologique en chenaux irréguliers tantôt vides, tantôt remplis de sables de papules et de micro-agrégats annonçant une dislocation du fond matriciel agrégé, transition nette et régulière,

(3) -22,0 à -24,0 mm : seconde concentration plasmique irrégulière et discontinue, comme précédemment : papules ressoudées et alignement de vésicules et de tubes de section étoilée, limite inférieure diffuse et régulière,

(4) -24,0 à -40,0 mm :  $\mu$ h. argilo-sableux, matrice porphyrosquélique taraudée en chenaux irréguliers et macrovides ( $\varnothing \neq 0,5$  mm), grains quartzeux intrapédiques mal classés ( $\varnothing$  de 0,12 à 1,2 mm) et rares nodules sesquioxidiques, chenaux généralement vides.

•• Description KWS 211 2 a



6 microhorizons

(1) 0 à -0,4 mm :  $\mu$ h. sableux discontinu, grains quartzeux mal classés, rares papules, assemblage granulaire lâche,

(2) -0,4 à -5,0 mm :  $\mu$ h. sablo-faiblement argileux, réticulation totale du fond matriciel en mailles de 0,6 à 1,2 mm de  $\varnothing$ , trame constituée de grains quartzeux anguleux mal classés ( $\varnothing$  maximum de 0,2 mm) de papules et de micro-agrégats ( $\varnothing$  de 0,08 à 0,2 mm),

(3) -5,0 à -6,0 mm :  $\mu$ h. de concentration plasmique de papules non soudées ( $\varnothing$  de 0,04 à 0,08 mm), limite supérieure diffuse, inférieure nette et régulière,

(4) -6,0 à -8,0 mm :  $\mu$ h. sableux, grains quartzeux anguleux déliés mal classés ( $\varnothing$  de 0,08 à

0,16 mm) et papules non soudées ( $\emptyset$  de 0,04 à 0,08 mm), assemblage granulaire, vésicules,

(5) sur 0,8 mm d'épaisseur, seconde concentration plasmique, plasma continu et papules soudées plus ou moins liées aux phases agrégées sous-jacentes, vésicules, limite supérieure nette et inférieure irrégulière,

(6) -9,0 à -40,0 mm :  $\mu$ h. argilo-sableux, matrice agrégée porphyro-squélitique, nombreux chenaux irréguliers vides, une zone disloquée à grains libres de quartz, micro-agrégats, papules et boulettes fécales.

•• Situation à l'issue de la septième averse

SITE	LAME	LOCAL	SEV	AVER	EPAIS	SURF
KORHOGO 1	KWS 511a:	amont	548	7	0 à 35:	sommet
		parcelle				ondulation:
	KWS 511b:	milieu	548	7	0 à 40:	zone
		parcelle				déprimée

•• Description KWS 511 a

3 microhorizons

(1) 0 à -8,0 mm :  $\mu$ h. argilo-sableux, concentration plasmique, plasma continu et papules ressoudées, néoargilanes jaune pâle (LN) dans les vides et à la base des gros grains, rares vides de section étoilée, transition nette et irrégulière,

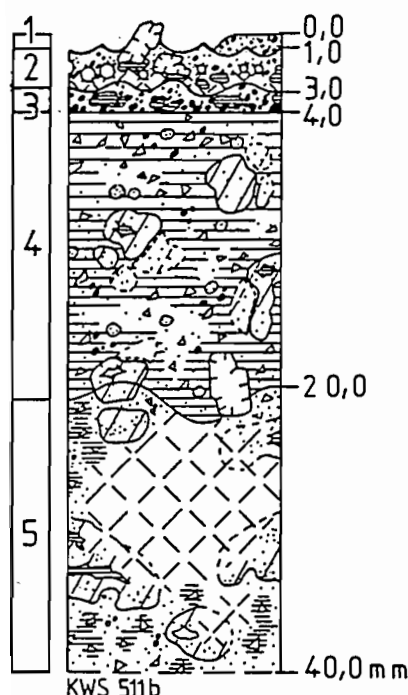
(2) et (3) -8,0 à -35,0 mm :  $\mu$ h. de dislocation partielle du fond matriciel, matrice agrégée en îlots et bandes irrégulières à assemblage porphyro-squélitique et à grains quartzeux anguleux mal classés, parcourue de fentes étroites, chenaux remplis de gros grains quartzeux à adhérences plasmiques, de papules ( $\emptyset$  de 0,12 à 0,20 mm), de micro-agrégats ( $\emptyset$  de 0,3 à 0,6 mm) et de boulettes fécales ; le deuxième microhorizon s'en distingue de -8,0 à -20,0 mm à cause d'une accumulation assez importante de néoargilanes jaune pâle en amas floconneux dans les chenaux de dislocation.

•• Description KWS 511 b

5 microhorizons

(1) sur environ 1,0 mm d'épaisseur :  $\mu$ h. sableux, grains quartzeux assez bien classés ( $\emptyset$  de 0,16 à 0,24 mm) et papules déliées, assemblage granulaire lâche,

(2) -1,0 à -2,0 ou -3,0 mm :  $\mu$ h. sableux, traces d'impacts de gouttes en surface, grains quartzeux anguleux mal classés, papules, flocons de néoargilanes, alignement de gros vésicules et début de réticulation du fond matriciel délié,



(3) -3,0 à -4,0 mm :  $\mu$ h. de concentration plasmique dont 3/4 de papules libres et 1/4 de plasma continu (soudure de papules et remplissage secondaire de néoargilanes), limite supérieure diffuse et inférieure nette et régulière,

(4) -4,0 à -20,0 mm :  $\mu$ h. de dislocation partielle du fond matriciel, matrice encore agrégée en îlots arrondis à assemblage porphyrosquélique contenant des tubes aplatis de section étoilée dont certains s'emplissent de néoargilanes claires, chenaux de dislocation à grains quartzeux, papules et micro-agrégats envahis aux 2/3 par des néoargilanes claires homogènes, transition nette et ondulée,

(5) -20,0 à -40,0 mm :  $\mu$ h. de composition et organisation voisines, différant par une réticulation du fond matriciel et une accumulation moins importante en néoargilanes essentiellement organisée en cutanes de grains

.. Dynamique actuelle de la parcelle KORHOGO 1 en l'état naturel

états	K1	I1	P1	CM2
sec	46,2	13,3	6,1	
humide	27,0 à 38,0	9,1	1,7 à 3,6	1,95

• Interprétation des observations  $\Rightarrow$  sols argilo-sableux, kaoliniques, état naturel, zone humide

L'interprétation des lames précédentes s'appuie sur une double comparaison :

- avec les observations sur les sols argilo-sableux smectitiques des zones sèches en ce qui concerne les dépôts de ruissellement et de décantation ,
- avec celles des sols sableux faiblement argileux du même domaine pédoclimatique pour ce qui concerne les concentrations plasmiques plus profondes.

Dans les zones submersibles des zones sèches, chaque pluie efficace fournissait une lame de décantation en zone sèche. On ne retrouve, par contre ici, que peu de traces de dépôts de ruissellement et ce, pour des protocoles pourtant sensiblement plus longs. Les traits laminaires superficiels observés sont ceux résultant des ultimes ruissellements et, dans certains cas, leur surface peut même être remaniée par le splash (lame KWS 511 b, p. ex.). Ceci signifie que chaque averse efficace est susceptible de déblayer les dépôts de l'averse précédente, et aussi qu'il se produit une divagation des drains sur la surface de la parcelle, ce qu'il est facile d'ailleurs de constater au cours des essais.

Cette divagation des drains et la faible accumulation de dépôts de ruissellement entraînent une **homogénéisation** des organisations dans les lames prélevées à différents endroits.

Les réorganisations plasmiques profondes ne diffèrent pas énormément de celles étudiées sur les lames des sols plus sableux de SAKASSOU. La matrice agrégée est, ici, tout aussi taraulée par l'activité biologique. On retrouve également des traits microstructuraux témoignant de la dislocation de la matrice et de la ségrégation de ses éléments constitutifs sous les effets conjugués de la gravité et de la détente de l'air emprisonné dans les porosités du sol (porosités vésiculaires alignées, réticulation du fond matriciel disloqué). Une **différence fondamentale** se manifeste cependant entre les sols sableux et ces sols argilo-sableux dans la nature du plasma remanié :

- si l'on retrouve les éléments plasmiques pectisés caractéristiques des sols ferrallitiques des anciennes surfaces, il s'y adjoint une importante **phase plasmique colloïdale précipitée en néoargilanes** envahissant secondai-  
rement les chenaux de dislocation de l'ancien fond matriciel,

- il ne peut y avoir d'erreur dans la distinction entre néoargilanes et plasma de la matrice non remaniée : les néoargilanes se présentent en amas floconneux, jaune pâle en LN, biréfringents et en assemblages argilasépique (LPAN) lorsqu'ils envahissent les chenaux (µh. 4 de la lame KWS 511 b, p. ex.), ou squelsépiques autour des gros grains du squelette (µh. 5 de cette même lame). Tandis que le plasma, plus ou moins pectisé de la matrice, reste brun sombre (LN), et est quasiment isotrope en LPAN et acquiert un comportement d'éléments du squelette lorsqu'il se retrouve en fragments dans les porosités interpédiques,

- la mobilisation et l'accumulation des néoargilanes sont directement liées au cumul des érosivités, c'est ainsi qu'ils sont nettement plus abondants en fin d'essais,

- dans les processus plus généraux d'appauvrissement et de lessivage des sols ferrallitiques, les horizons superficiels peuvent ainsi constituer des **zones de départ de colloïdes minéraux** pour des migrations plus profondes car. Contrairement aux illites et smectites des sols isohumiques, ces néoargilanes ne présentent aucune tendance à s'organiser en traits laminaires minces et superficiels.

Dans les **zones émergées**, les concentrations plasmiques superficielles tendent à s'épaissir (lame KWS 211 2 b, p. ex.) par la soudure des papules et micro-agrégats sous les effets conjugués de l'humectation et du splash. L'infiltration y devient faible avec, pour corollaire, le maintien de l'agrégation du fond matriciel sous-jacent. Cette macroporosité interpédique peut être élevée mais elle reste peu fonctionnelle. Contrairement aux sols plus sableux, la cohésion de cette concentration plasmique superficielle est forte et, dans ces conditions, l'infiltration de l'ensemble de la surface n'est améliorée qu'en raison de la divagation des drains → les zones submersibles assurant la plus forte perméabilité des parcelles.

#### *IV.2.5. Sols labourés, sableux, des zones sèches*

- OURSI 3 , sol ferrugineux tropical, lessivé, sur granite

.. Situation à l'issue de la neuvième averse simulée

SITE	LAME	LOCAL	SEV	AVER	EPAIS	SURF
OURSI 3	CT 25	aval	182	9	0 à 35	sommet
		parcelle				ondulation
	CT 27	aval	182	9	0 à 35	zone
		parcelle				déprimée

.. Description CT 25

3 microhorizons

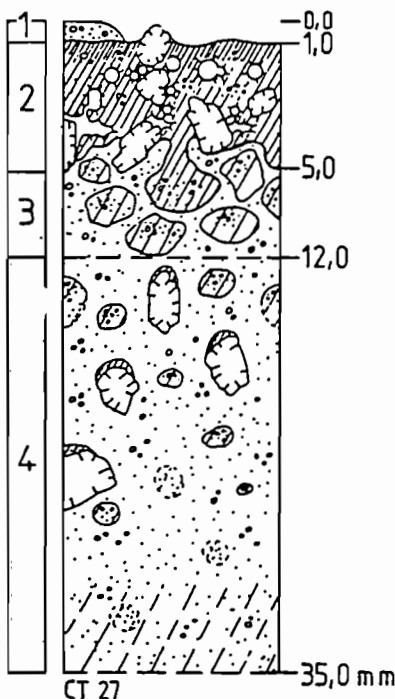
(1) sur une épaisseur de 0,16 mm :  $\mu$ h. de concentration superficielle (croûte de dessiccation) interrompu par l'affleurement de graviers et de sables grossiers quartzeux, traces d'impacts de gouttes, quelques reliquats de mottes de labour à matrice aggloméroplasmique et vides de section étoilée et à grains quartzeux mal classés, transition nette et ondulée,

(2) de 0,16 à - 3,0 mm :  $\mu$ h. sableux, grains mal classés, assemblage granulaire, sans vésicules, quelques îlots arrondis à assemblage intertextique, les gros grains sont "coiffés" de néomatranes, transition nette et ondulée,

(3) -3,0 à -35,0 mm :  $\mu$ h. sablo-argileux, grain mal classés, assemblage intertextique, reliquats de mottes ( $\emptyset$  de 1,5 à 2,5 mm) à assemblage porphyrosquélique à aggloméroplasmique, partie supérieure en voie de désagrégation, contiennent des vides de section étoilée, quelques granotubules irréguliers.

.. Description CT 27

4 microhorizons



(1) 0 à -1,0 mm :  $\mu$ h. sableux fin, discontinu, grains mal classés, assemblage granulaire lâche,

(2) -1,0 à -5,0 mm :  $\mu$ h. de concentration plasmique dont le plasma est orienté, dense en surface sur 0,5 mm puis en assemblage aggloméroplasmique, grains quartzeux mal classés, nombreux graviers quartzeux ( $\emptyset$  # 2,5 mm), macrovides associés à ces graviers, fissures et vides de section étoilée et nombreux vésicules sphériques ( $\emptyset$  # 1,0 mm) reliés à ces fissures, transition diffuse, irrégulière à interrompue par fusion avec les reliquats de mottes sous-jacents,

(3) -5,0 à -12,0 mm :  $\mu$ h. sableux contenant de nombreux reliquats de mottes arrondis ( $\emptyset$  # de 3,0 à 4,0 mm) à assemblage aggloméroplasmique tranchant sur un fond matriciel d'assemblage granulaire, grains mal classés, transition diffuse et régulière,

(4) -12,0 à -35,0 mm :  $\mu$ h. sableux, grains mal classés, assemblage granulaire passant à intertextique vers -30,0 mm, reliquats motteux de plus en plus rares et de diamètre décroissant en profondeur, gros grains "coiffés" de néomatranes.

•• Dynamique actuelle sur laparcelle OURSI 3 labourée

état	Ki	I1	P1	CM 2
sec	49,6	5,2	5,6	
humide	5,0 à 19,0	2,9	0,3 à 2,1	2,70

• GALMI 1 , sol ferrugineux tropical, peu lessivé, sur sables éoliens et grès du Continental Terminal

•• Situation à l'issue des averses simulées

SITE	LAME	LOCAL	SEV	AVER	EPAIS	SURF
GALMI 1	GAL 11	amont	632	14	0 à 37	zone
		parcelle				plane, nue

•• Description GAL 11

3 microhorizons

(1) sur une épaisseur de 0,3 mm :  $\mu$ h. de concentration plasmique continu, superficiel (croûte de dessiccation),

(2) -0,3 à -23,0 mm :  $\mu$ h. sableux, grains bien classés, quartzeux arrondis ( $\emptyset$  de 0,2 à 0,4 mm), assemblage intertextique lâche, traits obliques à néosquelétanes (ou granotubules ?), tubes à argilanes ( $\emptyset$  # 0,6 mm), tubes à quasicutanes ( $\emptyset$  1,5 à 2,0 mm), transition diffuse et ondulée,

(3) -23,0 à -37,0 mm :  $\mu$ h. sablo-argileux, grains bien classés émoussés arrondis, assemblage intertextique plus dense que précédemment et îlots à assemblage aggloméroplasmique à limites diffuses (mottes ou néomatranes ?), quasicutanes associées aux tubes.

•• Dynamique actuelle de la parcelle GALMI 1 labourée

état	Ki	I1	P1	CM 2
sec	52,6	12,5	9,5	
humide	25,0 à 42,0	8,1	0,9 à 2,0	1,56



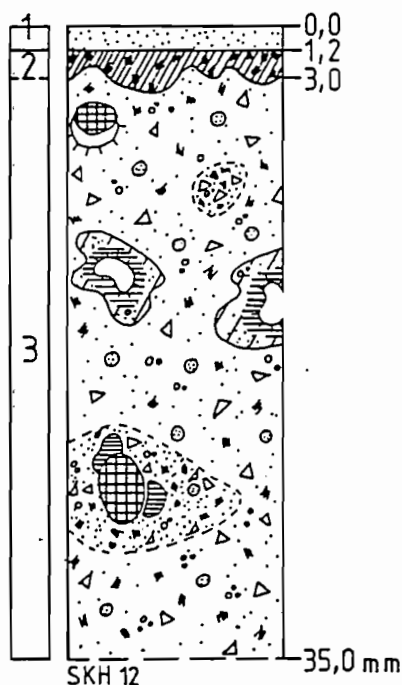
### XV.2.6. Sols labourés, sableux, des zones humides

• SAKASSOU 2, sol ferrallitique, moyennement désaturé, remanié, lessivé, sur granite

• Situation à l'issue de 7 averses simulées

SITE	LAME	LOCAL	SEV	AVER	EPAIS	SURF
SAKASSOU 2	SKH 12	amont	915	7	0 à 35	plane
		parcelle				dép.sableux:
	SKH 13	aval	915	7	0 à 35	plane
		parcelle				dép.plasmique:

• Description SKH 12



#### 3 microhorizons

(1) 0 à -1,2 mm :  $\mu$ h. sableux fin, grains assez bien classés ( $\emptyset$  de 0,08 à 0,16 mm), assemblage granulaire, transition nette et régulière,

(2) -1,2 à -2,0 ou -3,0 mm :  $\mu$ h. de concentration plasmique, limite supérieure nette (érosion), limite inférieure nette, ondulée à irrégulière,

(3) -2,0 ou -3,0 à -35,0 mm :  $\mu$ h. de dislocation plasmique avec grains quartzux mal classés, micro-agrégats, îlots agrégés en assemblage porphyroscellulaire correspondant très souvent à des quasicutanes de tubes (seuls reliquats des mottes).

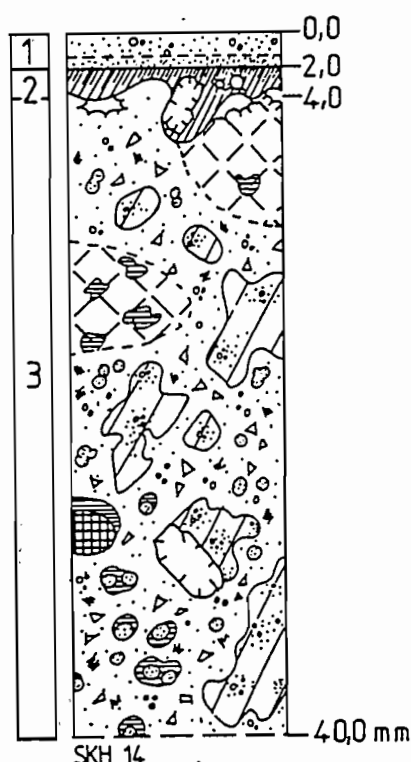
• Variante SKH 13

Présente un microhorizon superficiel de concentration plasmique (0,4 mm) avec des traces d'impacts de gouttes puis un microhorizon présentant les mêmes caractéristiques que le  $\mu$ h 3 de la lame précédente (SKH 12) mais il s'y adjoint des amas floconneux de néoargilanes jaune pâle (LN), omnisépiques (LPAN) entre les plus gros grains du squelette disloqué et dans les tubes.

.. Situation à l'issue de la onzième averse

SITE	LAME	LOCAL	SEV	AVER	EPAIS	SURF
SAKASSOU 2	SKH 14	milieu	1189	11	0 à 40	dépression
		parcelle				

.. Description SKH 14



3 microhorizons

(1) 0 à -2,0 mm :  $\mu$ h. sableux dont un lit superficiel mal classé et un lit sous-jacent bien classé, assemblage granulaire, transition nette et régulière,

(2) -2,0 à -2,4 ou 4,5 mm :  $\mu$ h. de concentration plasmique continu, dense et plasma orienté en sommet, moins dense en dessous, rares vésicules, limite supérieure nette (érosion), inférieure nette, ondulée à irrégulière soulignée par l'apparition de macrovides et d'une réticulation du fond matriciel,

(3) -2,4 ou -4,5 à - 40,0 mm :  $\mu$ h. de dislocation du fond matriciel, grains quartzeux mal classés, micro-agrégats et îlots agrégés porphyro-squeliques ; par endroit, réticulation du fond matriciel disloqué et, alors, association avec des néoargilanes plus fréquentes

.. Dynamique actuelle de la parcelle SAKASSOU 2 labourée

état	K1	l1	P1	CM 2
sec	82,2	25,6	48,6	
humide	19,0 à 36,0	14,3	1,2 à 2,4	7,19

XV.2.7. Sols labourés, argilo-sableux, des zones sèches

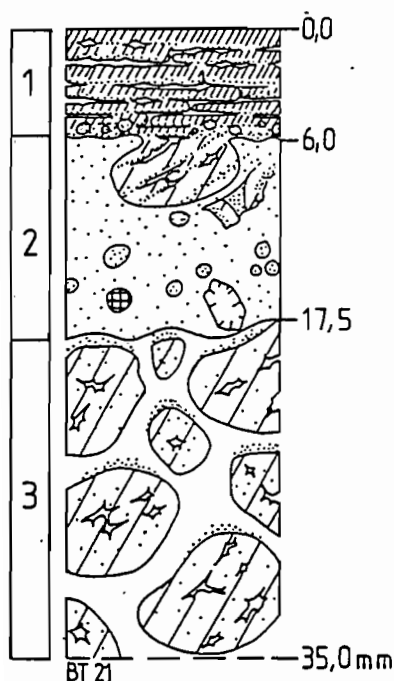
• OURSI 2, sol isohumique, brun sub-aride, vertique, sur amphibolite

•• Situation à l'issue de la huitième averse

SITE	LAME	LOCAL	SEV	AVER	EPAIS	SURF
OURSI 2	BT 21	amont	118	8	0 à 35	plane
		parcelle:				
	BT 24	aval	118	8	0 à 35	plane

•• Description BT 21

3 microhorizons



(1) 0 à -6,0 mm :  $\mu$ h. de décantation, essentiellement plasmique, 4 à 8 lames brunes (LN), isotropes (LPAN), délimitées par des fissurations régulières ou des alignements de vides de section étoilée, phase plasmique dense en sommet de lame, charge croissante en sables fins et limons vers la base, vers -6,0 mm apparaissent des lits de micro-agrégats arrondis ( $\emptyset$  de 0,12 à 0,30 mm), libres, transition nette et adhérence de reliquats de mottes par endroit,

(2) -6,0 à -17,5 mm :  $\mu$ h. sableux, grains quartzeux assez bien classés ( $\emptyset$  médian # 0,12 mm), rares sables grossiers, quelques micro-agrégats, assemblage granulaire lâche, aucune vésicule, transition nette et régulière,

(3) -17,5 à -35,0 mm :  $\mu$ h. argilo-sableux, nombreuses mottes intactes, non fondues, vides interpédiques non sableux, saupoudrage de sables fins sur le sommet des éléments structuraux, assemblage intrapédique porphyrosquélique et vides en étoile.

•• Description d'une variante BT24

Pas de microhorizon sableux de type (2), les mottes intactes se situent immédiatement sous le système de décantation auquel certaines peuvent adhérer.

•• Dynamique actuelle de la parcelle OURSI 2 labourée

état	K1	I1	P1	CM 2
sec	59,0 à 70,0	2,7	7,7 à 13,4	
humide	0,0 à 23,0	1,5	0,2 à 4,7	6,41

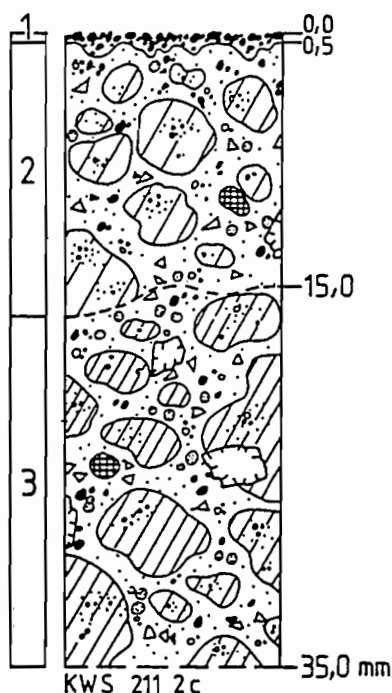
### XV.2.8. Sols labourés, argilo-sableux, des zones humides

• KORHOGO 1, sol ferrallitique, moyennement désaturé, remanié avec recouvrement, sur granite

.. Situation à l'issue des deuxième et septième averses

SITE	LAME	LOCAL	SEV	AVR	EPAIS	SURF
KORHOGO 1	KWS 211	amont	270	2	0 à 35	aplanie
	2 c	parcelle				
	KWS 511	amont	548	7	0 à 35	aplanie et
	b 2	parcelle				micro-escar-
						-pements

.. Description KWS 211 2 c



#### 3 microhorizons

(1) 0 à -0,5 mm :  $\mu$ h. de concentration plasmique superficielle constituée par la soudure de papules, limite supérieure nette (croûte d'érosion) et inférieure nette, ondulée,

(2) -0,5 mm à -15,0 mm :  $\mu$ h. de dislocation partielle du fond matriciel avec 50 % de reliquats de mottes ( $\emptyset$  0,5 à 4,0 mm) à assemblage aggloméroplasmique (papules soudées) et 50 % de grains quartzeux anguleux mal classés, papules, micro-agrégats (LPAN),

(3) -15,0 à -35,0 mm : même organisation que précédemment mais la matrice des mottes est porphyrosquélique.

.. Variante KWS 511 b 2

Avec le cumul des averses, la distribution des organisations varie sensiblement ; le fond matriciel disloqué occupe 75 % de la lame et les éléments relictuels s'organisent en mailles (réticulation partielle), accumulation de néoargilanes en amas floconneux entre les gros grains et dans les macrovides de la phase matricielle encore agrégée (mottes).

.. Dynamique actuelle sur la parcelle KORHOGO 2 labourée

état	Ki	Il	Pi	CM 2
sec	47,0	10,4	15,9	
humide	19,0 à 30,0	5,6	1,3 à 4,1	3,16

• Interprétation concernant l'ensemble des lames des sols labourés

La plupart des prélèvements ont été effectués sur des parcelles soumises à des trains d'averses dont les érosivités cumulées s'échelonnant entre 120 et 1000 joules/m<sup>2</sup> × mm, sauf sur KORHOGO où un suivi complet des évolutions a pu être fait de la première à la septième averse.

Les examens **macroscopiques** de la surface des parcelles montrent que, avant l'averse, les sols sableux ne présentent qu'environ 20 % de mottes d'un diamètre supérieur ou égal à 25 mm. Les autres éléments se répartissant en 40 % d'agréats inférieurs ou égaux à 5,0 mm et environ 40 % de sables déliés. Sur les sols argilo-sableux, 70 % des mottes ont des diamètres supérieurs ou égaux à 25,0 mm, le reste étant constitué d'agréats inférieurs ou égaux à 5,0 mm.

La désagrégation des mottes est totale pendant la première averse (SEV # 50 à 70 points) sur les sols sableux des zones sèches et humides. Il en résulte un lissage complet de la parcelle dont la planéité se maintient pendant toute la durée des essais en zone sèche. En zone humide, il apparaît, par contre en cours d'essais, des micro-escarpements en bandes parallèles d'affleurement sableux et plasmiques (KWS 511 b 2 p. ex.), manifestation d'une érosion régressive partant du niveau de base local que constitue le canal de ruissellement.

Sur les sols argilo-sableux, la désagrégation est moins rapide. Sur les sols vertiques, elle aboutit au lissage de 80 % de la parcelle à l'issue de la seconde averse (SEV # 120 à 150 points) et 20 % de mottes peuvent "émerger" jusqu'à l'issue de la quatrième averse (SEV # 300 points). Sur les sols à kaolinite, la désagrégation superficielle complète des mottes n'intervient généralement qu'au bout de 6 ou 7 averses (SEV # 450 à 550 points).

La rugosité initiale des sols labourés est ainsi totalement supprimée ou considérablement atténuée, amenant la formation d'une surface plane apte à répartir de façon homogène la lame ruisselante. Ceci constitue une **différence fondamentale** par rapport aux surfaces des sols naturels où le micromodelé initial se maintient quand il ne s'amplifie pas.

L'examen **microscopique** des différentes lames suggère les commentaires suivants :

- qu'il s'agisse de sols sableux ou de sols argilo-sableux, les seules concentrations plasmiques sont superficielles, il ne s'y différencie en effet **aucun trait laminaire profond** ni d'ailleurs de systèmes vésiculaires associés, ceci peut signifier deux choses :

- les traits laminaires ont pu se différencier pendant la première averse et être ensuite érodés,

.. les conditions nécessaires à leur formation n'ont jamais été réunies,

• l'examen des lames provenant de la première averse sur KORHOGO 1 tend à prouver que les traits laminaires profonds ne se forment jamais sur des sols récemment labourés,

• sous la surface des sols sableux des zones sèches et humides, la désagrégation des mottes (agrégats < 5,0 mm) est quasi totale (lames CT 25, GAL 11, 12 et 13). Il n'en subsiste des reliquats qu'immédiatement sous les concentrations plasmiques superficielles, celles-ci "fondent" et se résolvent en imprégnations plasmiques quasicutaniques autour des macroporosités (lame SKH 12 p. ex.). Cette désagrégation fournit un squelette à assemblage granulaire lâche où l'on ne détecte pas de tassement → la séparation matricielle de la phase agrégée semble être surtout isovolumique,

• la désagrégation des mottes est partielle sous la surface des sols argilo-sableux kaolinitiques (lame KWS 211 c, p. ex.). Elle est considérablement ralentie sous les épaisses lames plasmiques du système de décantation des sols argilo-sableux vertiques (lame BT 24 p. ex.),

L'absence de réagencement laminaire profond peut être la conséquence de deux choses :

• le plasma provenant des mottes de labour est moins dispersable que celui des microhorizons superficiels non remaniés. Ceci peut se concevoir parce que les mottes de labour proviennent de matériaux situés à -10 à -20 cm où les liens matriciels ne sont peut-être pas plus résistants mais où les amorces de séparations plasmiques sont moins abondantes, .

• la diffusion gazeuse vers la surface est facilitée pendant la phase de désagrégation des mottes.

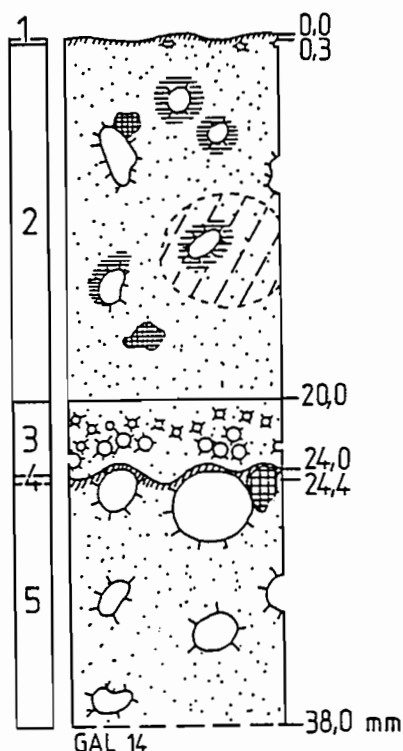
#### XV.2.9. Sols billonnés des zones sèches

• Sols sableux billonnés : exemple de GALMI 1, sol ferrugineux tropical, peu lessivé, sur dépôts éoliens anciens et grès du Continental Terminal

.. Situation concernant les anciens billonnages de l'année précédente et les nouveaux billonnages de l'année à l'issue de 3 averses simulées

SITE	LAME	LOCAL	SEV	AVER	EPAIS	SURF
GALMI 1	GAL 14	amont	525	12	0 à 38	sommet
		:parcette				:ancien bill:
	GAL 15	aval	525	12	0 à 40	interbillon:
		:parcette				:ancien
	GAL 24	amont	127	3	0 à 36	sommet
		:parcette				:nouv. bill.:
	GAL 25	milieu	127	3	0 à 36	interbillon:
		:parcette				:nouv. sable:
	GAL 26	aval	127	3	0 à 37	interbillon:
		:parcette				:nouv. plasm:

# •• Description GAL 14, ancien billonnage



## 5 microhorizons

(1) 0 à -0,3 mm :  $\mu$ h. de concentration plasmique épidermique (croûte de dessiccation),

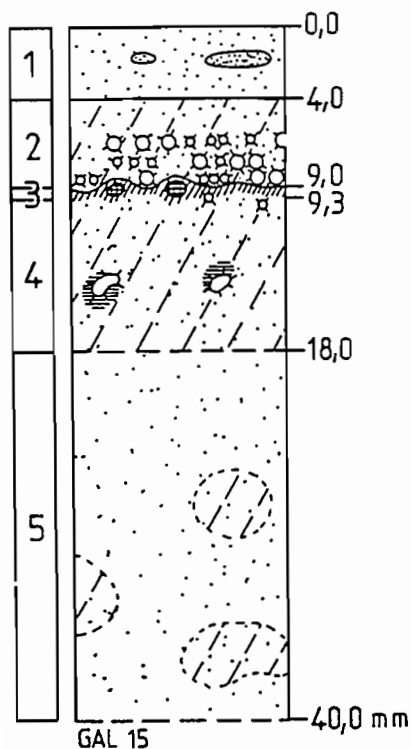
(2) -0,3 à -20,0 mm :  $\mu$ h. sableux, grains assez bien classés ( $\emptyset$  médian # 0,3 mm), assemblage granulaire à intertextique, quelques vides d'entassement sous le  $\mu$ h. (1), nombreux tubes ( $\emptyset$  de 3,0 à 5,0 mm) dont la moitié présente des quasicutanes, transition nette et régulière,

(3) -20,0 à -24,0 mm :  $\mu$ h. sableux, grains assez bien classés, assemblage granulaire lâche, alignements réguliers de vésicules sphériques ( $\emptyset$  de 0,4 à 0,8 mm), transition nette et régulière,

(4) vers -24,0 et sur une épaisseur de 0,3 à 0,4 mm :  $\mu$ h. de concentration plasmique "moulé" sur les gros grains (nodules) et les macrotubes sous-jacents ( $\emptyset$  de 3,0 à 5,0 mm), canalicules faisant communiquer ces tubes avec les vésicules sus-jacents,

(5) -24,4 à -38,0 mm :  $\mu$ h. sableux voisin du  $\mu$ h. 2 mais à assemblage exclusivement intertextique, contient de nombreux macrovides.

# •• Description GAL 15, ancien billonnage



## 5 microhorizons

(1) 0 à -4,0 mm :  $\mu$ h. sableux, grains assez bien classés ( $\emptyset$  médian # 0,2 mm), assemblage granulaire, rares lames de néomatranes,

(2) -4,0 à -9,0 mm :  $\mu$ h. sableux vésiculaires, grains assez bien classés ( $\emptyset$  médian # 0,5 mm), assemblage granulaire à intertextique, nombreux lits vésiculaires superposés ( $\emptyset$  de 0,5 à 1,2 mm), transition nette et régulière,

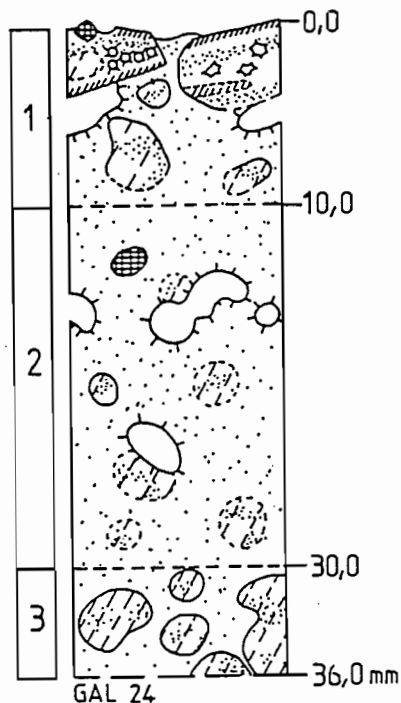
(3) vers -9,0 et sur 0,3 mm :  $\mu$ h. de concentration plasmique à limite inférieure diffuse, plasma continu s'épaississant au niveau des grains grossiers (nodule), rares vésicules ( $\emptyset$  # 0,25 mm),

(4) -9,3 à -18,0 mm :  $\mu$ h. sableux faiblement argileux, grains bien classés ( $\emptyset$  médian # 0,5 mm), assemblage granulaire à intertextique, rares tubes à quasicutanes, transition régulière et diffuse,

(5) -18,0 à -40,0 mm :  $\mu$ h. sableux, les ponts plasmiques entre les grains diminuent, assemblage de nouveau essentiellement granulaire.

•• Description GAL 24, nouveau billonnage, sommet de billon

On repère assez difficilement 3 microhorizons, le matériau est en effet assez faiblement réorganisé même à l'issue de 3 averses :

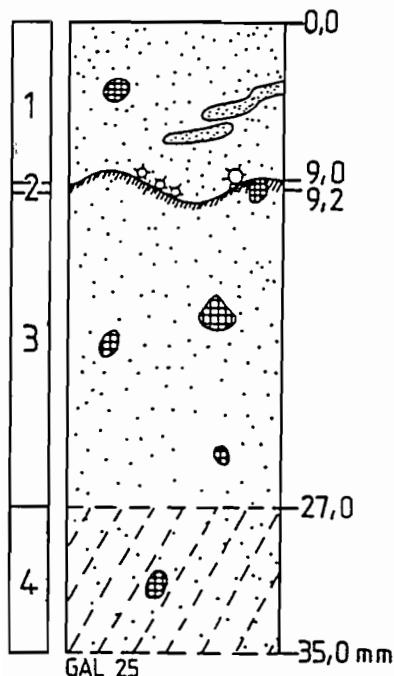


(1) sur # 10,0 mm prédominent des traits relictuels des organisations typiques des interbillons tels que des lames de concentration plasmique et leur système vésiculaire en position oblique par rapport à l'actuelle surface ainsi que des reliquats de mottes,

(2) -10,0 à -30,0 mm : développement d'une importante macroporosité tubulaire dans un micro-horizon sableux à assemblage granulaire très lâche,

(3) -30,0 à -36,0 mm : nombreux reliquats de mottes à assemblage intertextique sur un fond matriciel sableux à assemblage granulaire lâche.

•• Description GAL 25, nouveau billonnage, interbillon à phase sableuse superficielle dominante



4 microhorizons

(1) 0 à -9,0 mm :  $\mu$ h. sableux, grains bien classé ( $\emptyset$  médian # 0,2 mm), assemblage granulaire, rares traits laminaires réguliers de néomatranes à limites diffuses, transition nette et ondulée,

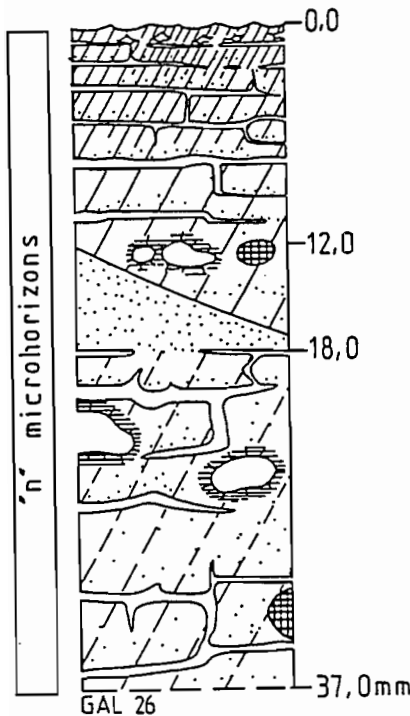
(2) vers -9,0 mm et sur une épaisseur de 0,2 mm :  $\mu$ h. de concentration plasmique continu et ondulé, limites supérieure et inférieure nettes, surmonté de quelques vésicules sphériques,

(3) -9,0 à -27,0 mm :  $\mu$ h. sableux fin, grains quartzeux bien classés, assemblage granulaire lâche, transition diffuse et régulière,

(4) -27,0 à -35,0 mm : -27,0 à -35,0 mm :  $\mu$ h. sableux fin, grains bien classés, assemblage intertextique par augmentation des ponts plasmiques intersticiels.



•• Variante GAL 26, nouveau billonnage, interbillon à phase plasmique superficielle dominante



Système de lames de décantation dans les interbillons de la partie aval des parcelles ; on note une diminution d'épaisseur des lames vers le sommet de l'échantillon (diminution progressive de la détachabilité avec le cumul des averses) ; le trait d'accumulation sableuse oblique correspond à un microcolluvionnement local provenant des flancs du billon voisin. Chaque lame est séparée de sa voisine par une fissure régulière et contient des macrovides ceinturés de quasicutanes plasmiques ( $\emptyset$  de 2,0 à 3,0 mm), concentration qui pourrait se produire en phase plastique à semi-liquide par grossissement de vides vésiculaires issus du dégazage. Ce serait donc une des origines possibles des concentrations matricielles autour des vides sans qu'il y ait systématiquement apport d'origine lointaine.

•• Dynamique actuelle de la parcelle GALMI 1 billonnée longitudinalement

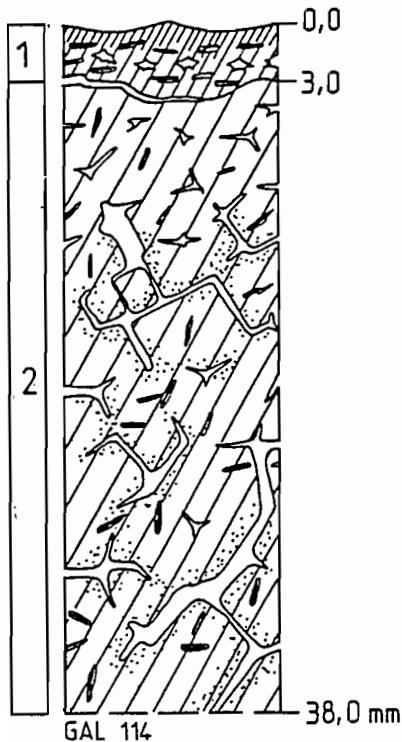
situations:	état	K1	I1	P1	CM 2
anc. bill.	sec	79,0 à 99,0	12,9	9,7 à 13,7	
	humide	45,0 à 83,0	3,8	1,0 à 3,5	3,37
nouv. bill.	ressuyé	77,0	-	15,2	6,01
	humide	49,0	-	1,0	4,78

• Sols argilo-sableux billonnés : exemple de GALMI 4, sol isohumique, brun sub-aride, vertique, sur alluvions et colluvions de comblement de vallée

•• Situation concernant les anciens billons isohypses à l'issue de 6 averses simulées

SITE	LAME	LOCAL	SEV	AVR	EPAIS	SURF
GALMI 4	GAL 113	amont	406	6	0 à 40	interbill.
		parcelle				
	GAL 114	amont	406	6	0 à 40	sommet
		parcelle				billon
	GAL 115	milieu	406	6	0 à 40	interbill.
		parcelle				

•• Description GAL 114, sommet ancien billon

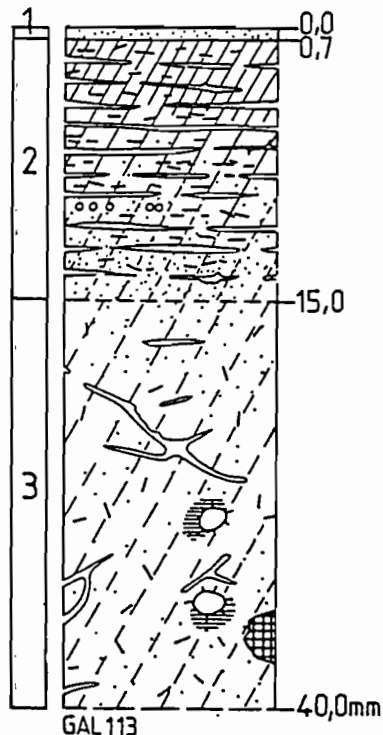


2 microhorizons

(1) 0 à -3,0 mm :  $\mu$ h. de concentration plasmique continue, dense et orientée (LPAN) sur 0,5 mm, moins dense en dessous, matrice argilo-limoneuse porphyrosquélique, plasma lattisépique orienté régulièrement, nombreuses lamelles d'argilite orientées régulièrement, alignements de vides de section étoilée, limite inférieure nette et légèrement ondulée soulignée par une fissure,

(2) -3,0 à -38,0 mm :  $\mu$ h. argilo-limoneux sans orientation préférentielle, grains quartzeux anguleux bien classés ( $\emptyset$  de 0,04 à 0,06 mm), nombreuses lithoreliques (lames d'argilite) sans orientation, matrice à assemblage aggloméroplasmique parcourue par des chenaux larges et fissures étroites plus ou moins orthogonales, tendance granulaire à proximité de ces vides.

•• Description GAL 113, interbillon ancien



3 microhorizons

(1) 0 à -0,7 mm :  $\mu$ h. sableux, grains bien classés ( $\emptyset$  médian  $\approx$  0,10 mm), assemblage granulaire lâche,

(2) -0,7 à -15,0 mm : système de décantation,  $\mu$ h. limono-argileux, environ 20 lames de décantation (épais. de 0,2 à 0,6 mm) séparées par des fissures régulières de 0,1 à 0,2 mm de largeur, lames argileuses en sommet, plus limoneuses à leur base, assemblage aggloméroplasmique à intertextique, intercalation de nombreuses lithoreliques (argilite) orientées régulièrement, quelques papules dont le diamètre augmente en profondeur, rares alignements vésiculaires vers -10,0 mm, transition diffuse et régulière par disparition d'une organisation laminaire,

(3) -15,0 à -40,0 mm :  $\mu$ h. argilo-limoneux sans orientation préférentielle, grains quartzeux anguleux assez bien classés ( $\emptyset$  de 0,04 à 0,08 mm), assemblage granulaire à intertextique, nombreuses lithoreliques (argilite) sans orientation, quelques vides à quasicutanes.

•• Variante GAL 115, interbillon ancien, milieu de parcelle

La succession des organisations est identique à celle de l'échantillon précédent (lame GAL 114) mais les lames de décantation présentent une différenciation granulométrique plus accentuée, essentiellement argileuse en sommet et accumulations sableuses fines en bas dont des grains de quartz et des papules.

•• Dynamique actuelle de la parcelle GALMI 4 billonnée (isohypse)

situations :		état :	K1	:	I1	:	P1	:	CM 2	:
anc. bill.:		sec :	68,0 à 79,6 :		2,9		4,1 à 10,3 :			
		humide:	34,0 à 43,0 :		2,1		0,9 à 3,4 :		3,50 à 5,45:	
nouv. bill.:		ressuyé:	61,0	:	-	:	4,2	:		
		humide:	29,0 à 34,0 :		-		0,3 à 0,9 :		6,29	

• Interprétation des lames provenant des sols billonnés

Rappelons que les billons dits "anciens" correspondent à ce qu'il reste des façons culturales de l'année précédente après la récolte du mil ou du sorgho (cf. IV.2.1.4.). Il subsiste alors un micromodelé en bandes parallèles de 10 à 15 cm d'amplitude et de 90 à 100 cm de période. Les semis de l'année s'effectuent en sommet des anciens billons ; après la levée des plantules, un nouveau billonnage est réalisé au dépens des anciens billons. L'amplitude de ce billonnage nouvellement édifié atteint alors 20 à 25 cm. Les effondrements consécutifs au cumul des pluies amène ainsi une ablation d'environ 5 cm des sommets de billon et un comblement équivalent des interbillons.

Les organisations observées dans les différentes lames résultent des ablations sur les sommets et des remblais dans les dépressions en fin de saison des pluies (lames GAL 14 et 15 sur le site GALMI 1 et lames GAL 113, 114 et 115 sur GALMI 4) ainsi que de celles se différenciant en début de saison des pluies sur un billonnage nouvellement levé (lames 24, 25 et 26 sur GALMI 1). L'ensemble des observations permet de dégager les commentaires suivants :

- sur les anciens billonnages des sols sableux (GALMI 1), on constate, somme toute, assez peu de différences par rapport aux organisations étudiées sur les sols en leur état naturel (jachère de plus de deux ans). Sommets, flancs et fonds de billons présentent une concentration plasmique profonde associée à un système vésiculaire. Ces concentrations plasmiques profondes épousent, en l'atténuant, le micromodelé de la surface, elles se situent, en effet, à -25,0 mm de la surface en sommet et à -10,0 mm en interbillon,

- le processus amenant leur formation ne diffère pas sensiblement de celui des sols naturels du même domaine pédoclimatique : il consiste également en une condensation plasmique liée au dégazage accompagnant l'infiltration en sommet et en fond de billon,

- les concentrations plasmiques épidermiques (ou de dessiccation) ne constituent pas de barrière hydrodynamique importante car elles se détruisent et se reforment à l'issue de chaque averse. Les concentrations plasmiques profondes ne limitent pas durablement l'infiltration car ces sols sont triturés par la faune (termites) à l'issue des récoltes comme le prouve l'abondance des biotubes à quasicutanes. Il en résulte des coefficients d'infiltration en moyenne plus importants que ceux des sols non cultivés,

- on pourrait supposer que le "déplacement" latéral des billons d'une année sur l'autre puisse renforcer l'imperméabilisation profonde (-20 à -25 cm) des sols cultivés puisque la terre remaniée n'est jamais reprise au dépens des interbillons mais des billons. L'examen macroscopique prouve que les dépôts de décantation, recouverts par les billons de l'année, se désagrègent plus ou moins complètement grâce à l'activité de la faune qui trouve, à cet endroit, un maximum de débris végétaux (système racinaire des céréales et débris accumulés par le ruissellement),

- après le **nouveau billonnage des sols sableux**, et à l'issue de 3 averses, les réorganisations restent peu importantes en sommet de billon (GAL 24) et l'on observe une désagrégation rapide des mottes prélevées sur l'ancien billon. Les nouveaux interbillons se réorganisent par contre intensément en se comblant de dépôts essentiellement sableux en amont (GAL 25) et nettement plus argileux en aval (GAL 26). Il apparaît donc, en interbillon, un effet "longueur de versant" dans le tri granulométrique des éléments transportés et déposés ; cette différenciation texturale explique le fonctionnement des parcelles sableuses billonnées où les ruissellements aval précèdent et prolongent les ruissellements amont,

- sur les **anciens billonnages des sols argilo-sableux vertiques** (GALMI 4), seuls les dépôts des interbillons rappellent les interstratifications lamellaires des sols non cultivés (OURSI 2, GALMI 4, BATANGA 1). Par rapport aux sols sableux billonnés, l'effet "longueur de versant" ne se manifeste plus dans la distribution granulométrique entre l'amont (GAL 113) et l'aval (GAL 115),

- dans les interbillons des sols vertiques, on note une diminution progressive de l'épaisseur des lames de décantation vers la surface correspondant non pas aux variations du protocole expérimental mais à une diminution progressive de la détachabilité des sommets et flancs de billons,

- en sommet de billons anciens (GAL 114), le fond matriciel reste totalement désorganisé, exception faite des quelque 2,0 à 3,0 mm de concentrations plasmiques épidermiques,

- l'examen macroscopique des horizons profonds, correspondant aux anciens interbillons situés à l'aplomb des nouveaux billons, montre qu'il s'y manifeste le même processus de réouverture des porosités que sur les sols sableux mais les reliquats laminaires plasmiques y sont plus nombreux, ils sont cependant très fragmentés,

- par rapport au sol non billonné, le coefficient d'infiltration est amélioré mais cette augmentation de l'infiltration est uniquement liée aux caractéristiques des parties exhaussées (sommet et flancs de billons).

### XV.2.10. Sols buttés des zones humides

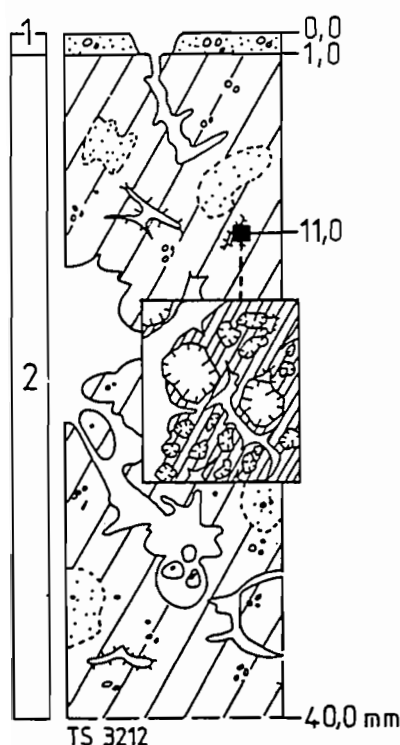
Les exemples qui suivent proviennent d'un buttage effectué selon une façon traditionnelle de l'ethnie baoulé de Côte d'Ivoire sur une des parcelles du site de TAÏ ; ce buttage a été soumis à une seule averse simulée.

• Sols argilo-sableux kaoliniques : exemple de TAÏ 3, sol ferrallitique, fortement désaturé, appauvri, induré, sur granite

• Situation à l'issue d'une averse simulée, prélèvement effectué après 40 heures de ressuyage

SITE	LAME	LOCAL	SEV	AVR	EPAIS	SURF
TAÏ 3	TS 3212	amont	97	1	0 à 40:	sommet
		parcelle				de butte
	TS 329	amont	97	1	0 à 40:	interbuttes:
	a et b	parcelle				sableuses
	TS 3211	milieu	97	1	0 à 40:	interbuttes:
	a et b	parcelle				argileuses

• Description TS 3212, sommet de butte

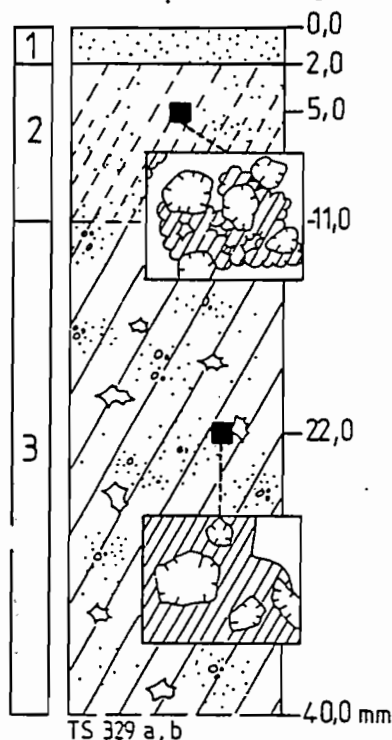


#### 2 microhorizons

(1) 0 à -1,0 mm :  $\mu$ h. sableux discontinu, grains quartzeux anguleux émoussés et mal classés ( $\emptyset$  de 0,2 à 0,6 mm), assemblage granulaire, transition nette et régulière,

(2) -1,0 à -40,0 mm :  $\mu$ h. sablo-argileux, grains quartzeux anguleux fissurés et mal classés ( $\emptyset$  de 0,2 à 1,6 mm), matrice à assemblage aggloméro-plasmique, nombreuses fissures irrégulières et chenaux de largeur variant entre 1,2 et 1,5 mm, nombreuses vacuoles ( $\emptyset$  de 3,0 à 5,0 mm) dont la plupart débouchent sur la surface, plasma continu jaune pâle (LN) en sommet et brun vif à la base, aucune papule, rares îlots à assemblage granulaire jusqu'à -40,0 mm,

.. Description TS 329 a et b, interbutte à accumulations sableuses,



3 microhorizons

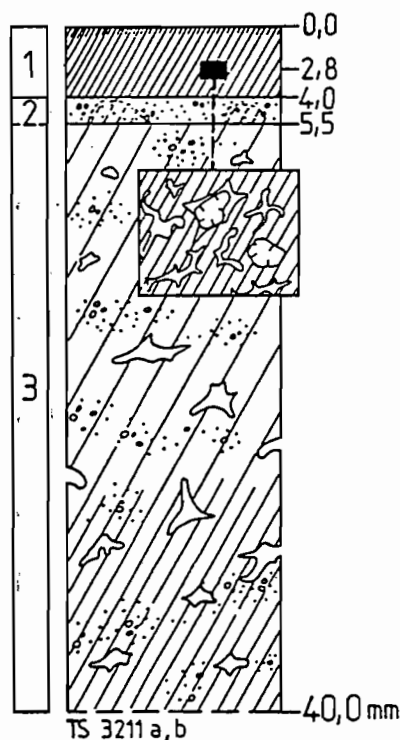
(1) 0 à -2,0 mm :  $\mu$ h. sableux fin, grains quartzeux anguleux ( $\emptyset$  de 0,04 à 0,10 mm en sommet puis de 0,08 à 0,40 mm à la base), assemblage granulaire, transition nette et régulière,

(2) -2,0 à -11,0 mm :  $\mu$ h. sableux à sablo-argileux, grains quartzeux assez bien classés ( $\emptyset$  de 0,20 à 0,40 mm), matrice à assemblage intertextique lâche en sommet devenant plus dense vers -6,0 mm, plasma jaune pâle (LN) omnisépique en amas floconneux entre les grains, vides d'entassement en sommet, vides intrapédiques vers la base ( $\emptyset$  de 0,04 à 0,08 mm), transition diffuse et régulière,

(3) -11,0 à -40,0 mm :  $\mu$ h. sablo-argileux, grains quartzeux mal classés ( $\emptyset$  de 0,04 à 1,0 mm), plasma brun vif (LN), assemblage porphyroscélitique, macrovides de section étoilée ( $\emptyset$  médian # 1,0 mm), mésovides intrapédiques allongés (0,08 x 0,50 mm).

.. Description TS 3211 a et b, interbutte à accumulations argileuses,

3 microhorizons



(1) 0 à -4,0 mm :  $\mu$ h. de concentration plasmique, squelette peu abondant, grains quartzeux anguleux non jointifs et mal classés ( $\emptyset$  de 0,06 à 0,20 mm), plasma plus condensé et lattisépique sur 0,5 mm en surface et omnisépique en dessous, brun vif (LN) et faiblement biréfringent (LPAN), en flocons agglomérés parcourus de mésovides tortueux reproduisant le contour des flocons (cf. schéma de détail), assemblage porphyroscélitique dense, transition nette et régulière,

(2) -4,0 à -5,5 mm :  $\mu$ h. sableux, grains quartzeux anguleux mal classés ( $\emptyset$  de 0,12 à 0,40 mm), assemblage granulaire, localement intertextique, transition nette et régulière,

(3) -5,5 à -40,0 mm :  $\mu$ h. sablo-argileux rappelant le microhorizon 3 de la lame TS 329, assemblage aggloméroplasmique assez lâche en sommet passant à porphyroscélitique vers la base, mésovides intrapédiques sensiblement plus nombreux.

•• Dynamique actuelle de la parcelle TAï 3 buttée

état	Ki	Ii	Pi	CM 1 *
ressuyé	61,0	-	17,7	(3,18) *
* contrairement aux autres sites, seule la turbidité moyenne à l'issue d'une seule averse a pu être calculée (CM1)				

• Interprétations portant sur les lames de TAï 3 buttée

Le buttage traditionnel remanie le sol sur 20 à 25 cm, il est réalisé à la houe et aboutit à l'édification de buttes alignées, équidistantes de 100 cm et élevées de 38 cm, elles ménagent un quadrillage de sillons dont les intersections forment des cuvettes dominées par les 4 buttes voisines.

La pluie simulée ( $P_u = 90$  mm) a modifié la topographie d'origine : de troncs-coniques, les buttes sont devenues hémisphériques à l'issue de l'averse. Des dépôts de colluvionnement et de décantation se sont accumulés à leur pied dans les cuvettes dont le diamètre s'est élargi. L'abrasion du sommet a atteint 4 cm tandis que 6 cm de matériaux se sont déposés au centre des cuvettes. Trois mois après les essais et sous un couvert peu dense d'ignames (à structure végétale lianescente), soit après environ 250 mm de pluies naturelles, la dénivellation entre le sommet de la butte et la surface des dépôts des interbuttes n'atteint plus que 18 cm soit la moitié de la dénivellation originelle. Les buttes ont toujours une section hémisphérique et leur surface est constituée d'une juxtaposition de colonnettes terreuses de 2 à 5,0 cm de hauteur dont les sommets sont coiffés de graviers ou de débris végétaux, les cuvettes, considérablement élargies, atteignent alors 25 cm de diamètre.

Quarante heures après les essais, la combinaison des observations méso-et microstructurales permet de proposer les interprétations suivantes :

- en **sommet** de butte, la surface est guillochée en cupules par l'impact des gouttes ; elle se présente sous la forme d'une "croûte d'érosion", les **flancs** sont couverts d'aspérités reproduisant les affleurements de mottes peu désagrégées, les **cuvettes** sont comblées de microcolluvionnement sableux provenant des quatre buttes voisines, leur **centre** est occupé par une lame argileuse de décantation,

- les organisations superficielles s'agencent finalement en un système de quatre "croûtes" : croûte d'érosion en sommet, croûte structurale sur les flancs, croûte de ruissellement en périphérie des cuvettes, croûte de décantation en leur centre ; il en résulte une infiltrabilité complexe qui peut être précisée après l'examen des lames:

- en **sommet** de butte, on ne remarque aucune concentration plasmique ni superficielle ni profonde, la matrice reste très poreuse (lame TS 3212) et ses porosités débouchent, pour la plupart, sur la surface. Cette matrice résulte de la désagrégation incomplète et de la soudure de mottes initialement

prélevées jusqu'à -20 cm soit dans des horizons massifs (cf. description TAï 3 en annexe); l'infiltration y est importante,

.. sur les flancs (lame non présentée), la fusion des mottes est moins importante et la macroporosité est encore plus forte, tubes et vacuoles de quelque 10 à 30 mm de diamètre débouchent en surface, l'infiltration y est maximum,

.. en périphérie des cuvettes (lame TS 329), s'interstratifient des dépôts sableux (colluvions et ruissellements) ne présentant pas de traits laminaires mais plutôt une **concentration plasmique diffuse** à partir de -6,0 mm en néoargilanes colloïdaux occupant les vides d'entassement du squelette. Cette illuviation argileuse reste cependant insuffisante pour colmater la matrice dont l'assemblage reste intertextique. **Plus profondément** (vers -11,0 mm sur la lame observée), la désagrégation des mottes fournit une matrice moins poreuse et ne présentant plus de sites permettant d'accueillir les argiles illuviées. L'infiltrabilité de ce segment devient moyenne puis faible avec le cumul des pluies par colmatage de sites initialement poreux mais aussi par la présence de microhorizons sous-jacents constamment peu poreux,

.. le centre des cuvettes interbuttes, en amont, et leur superficie totale, en aval, se colmatent avec un dépôt de décantation (lame TS 3211) argileux en sommet et sableux à la base. L'infiltration y devient insignifiante.

Dans ce système, les coefficients d'infiltration ( $K_i$  %) décroissent de la façon suivante :  $K_i$  des flancs de buttes  $\gg K_i$  de leurs sommets  $> K_i$  de la périphérie des cuvettes  $\gg K_i$  du centre des cuvettes. C'est donc l'évolution du micromodèle répartissant les superficies occupées respectivement par chaque segment constitutif qui déterminera la perméabilité de l'ensemble du système, la tendance allant évidemment dans une extension des segments non ou peu perméables par dégradation des sommets et flancs de buttes.

### ***XV.3. Les différentes expressions micromorphologiques des concentrations plasmiques et leur influence sur l'infiltrabilité***

Différents modes de concentrations plasmiques ont été observés depuis le domaine isohumique où la phase argileuse est essentiellement smectitique jusqu'au domaine ferrallitique où prédomine la kaolinite.

Ces concentrations plasmiques contrôlent d'autant plus la conductivité hydraulique des sols qu'elles s'organisent en traits laminaires denses et réguliers. Leur densité et leur régularité dépendent de la nature minéralogique des argiles, de la dimension des cristallites argileux, de leur susceptibilité à la dispersion, des modalités de leur migration et, enfin, de la dimension et de la forme des grains du squelette.

La mobilisation des argiles précédant leur migration et leur accumulation dans les microhorizons superficiels s'opèrent différemment selon les domaines pédoclimatiques :



- dans la **zone sèche smectitique**, la mobilisation s'effectue essentiellement par hydratation de la matrice agrégée qui gonfle, se disperse et constitue une pseudo-solution colloïdale fluante lorsqu'il y a sursaturation hydrique de la surface du sol. Ce processus, déjà mis en évidence dans les zones sub-désertiques par CHEVERRY et BOCQUIER (1972), VALENTIN (1981, 1985), est accentué par les fortes charges magnésiennes du complexe absorbant constatées notamment sur les sols vertiques d'OURSI 2, BATANGA 1 et aussi sur POUNI 3,

- cette mobilisation connaît cependant l'exception des dépôts argileux superficiels soumis à une ultradessiccation amenant le sol à des  $pF >> 4,2$  pendant plusieurs mois de l'année. Cet événement, dont les conséquences ont été étudiées notamment sur les smectites par TESSIER et PEDRO (1980), TESSIER (1980), rend difficile sinon impossible toute dispersion de cristallites ayant perdu leur eau interfoliaire et l'on retrouve alors dans la matrice agrégée des pédoreliques en lames devenues inertes aux alternances d'humectation (GALMI 4),

- dans les **zones humides kaoliniques**, la dispersion est précédée du phénomène mécanique d'éclatement de la matrice agrégée selon des processus démontrés par HENIN et MONNIER (1956), HENIN et al. (1969), ce processus est vraisemblablement accéléré par les vibrations dues aux impacts des gouttes de pluie et transmises en profondeur au niveau de la matrice en cours de désagrégation,

- les éléments de cette désagrégation sont de nature variable selon l'évolution géochimique des sols donc souvent selon leur position dans le modelé :

- il apparaît ainsi que les sols ferrallitiques des anciennes surfaces fournissent beaucoup d'**éléments plasmique pectisés** par les oxyhydrates de fer (BEAUDOU et CHATELIN, 1974, BEAUDOU et al., 1977, MULLER, 1977, CHAUVEL, 1977) et notamment des micro-agrégats (plasma et grains du squelette) et des granules uniquement plasmiques (papules) tous deux bruns sombres (LN) et quasiment isotropes (LPAN). Leur granulométrie avoisine celle des limons grossiers, leur mobilisation a plutôt été constatée dans les microhorizons de sols en leur état naturel.

- on a également découvert de nombreuses **dispersions argileuses colloïdales en amas floconneux** jaune pâle (LN) et biréfringents (LPAN) sous la forme de cutanes dans les tubes, et de néoargilanes entre les grains du squelette où elles se juxtaposent ou se superposent aux granules plasmiques pectisés. Elles ont plutôt été observées dans les sols remaniés par de récentes façons culturales amenant en surface des matériaux prélevés en profondeur.

Après sa mobilisation, la phase plasmique **se réorganise** sous les effets combinés des pluies, de l'infiltration et du ruissellement; ces réorganisations se présentent sous diverses formes dont certaines sont encore en cours de répertoriage (CASENAVE, VALENTIN, à paraître 1988). Cette étude a permis d'en identifier un certain nombre contrôlant de différentes façons la conductivité hydraulique superficielle.

• *Les concentrations plasmiques superficielles,*

•• *Concentrations plasmiques épidermiques de dessiccation ("croûtes" DES)*

Elles forment de minces liserés de plasma orienté (LPAN) couvrant la surface des zones non soumises au courant de ruissellement, moulant toutes les aspérités du sol et notamment les microcratères d'impacts de gouttes. Elles sont "percées" par les affleurements des grains grossiers du squelette et se forment lors de la dessiccation des charges solides contenues dans le film humide couvrant le sol à l'issue d'une averse. Détruites par les impacts des premières gouttes de pluie de l'averse suivante, elles ne constituent pas une barrière hydrodynamique efficace sauf lorsqu'elles sont consolidées par des organismes végétaux mono- ou pluricellulaires ou par la remontée et la précipitation de solution.

•• *Concentrations plasmiques superficielles dues à la fonte partielle et à la soudure d'agréats naturels ou de mottes de labour ( SOUD)*

Elles protègent généralement les éléments structuraux sous-jacents des désagréations et "fontes" ultérieures ; elles caractérisent plus souvent les sols travaillés ; leur contrôle sur l'hydrodynamique superficielle est fonction de la nature des éléments plasmiques et de leur épaisseur.

•• *Concentrations plasmiques des systèmes de décantation (DEC)*

Elles sont épaisses sur les sols vertiques, se forment par sédimentations des apports de chaque ruissellement dans des zones déprimées. Le tri granulométrique amène la formation de lames argileuses en sommet, sableuses à limoneuses à la base. La dessiccation des strates argileuses fournit des copeaux de dessiccation rebroussés se détachant facilement du substrat.

•• Sous le système de décantation précédent (DEC), ou directement en surface, la sursaturation hydrique amène la fonte totale des horizons supérieurs des sols vertiques. Il se constitue alors une couche boueuse dont la composition granulométrique reproduit, sans classement particulier, celle du sol en place. Sa dessiccation fournit une strate continue à l'état plastique assimilable de par son comportement à une concentration plasmique (LIQ). Elle se délite en lames structurales à l'état sec, plus ou moins solidaires des différenciations structurales cubiques puis prismatiques sous-jacentes. L'infiltrabilité, en début de saison des pluies, dépend alors de la présence ou de l'absence des fissurations verticales profondes et débouchant en surface à travers ce microhorizon (ou cet horizon) lamellaire. Le temps de colmatage de ces fissures détermine étroitement le type de régime d'infiltration de ces sols (BATANGA p. ex.).

• *Les concentrations plasmiques laminaires profondes*

Elles se forment dans les différents domaines pédoclimatiques sur les sols sableux à argilo-sableux en leur état naturel, elles ne se forment par contre pas dans les sols récemment travaillés.

On les découvre encore dans des horizons contenant 25 % d'argile, situation englobant donc une forte proportion de sols ferrallitiques appauvris mais qui sont argilo-sableux et même argileux en profondeur. Ces concentrations plasmiques laminaires sont cependant plus typiques dans les matériaux sableux à sablo-faiblement argileux (argile  $\leq$  15 %).

Leur formation résulte de la manifestation simultanée de deux processus : entraînement descendant des éléments plasmiques contenus dans les eaux de ruissellement et de percolation, mais aussi, condensation ascendante du plasma de la matrice partiellement ou totalement dispersée.

La descente de la phase plasmique ne pose pas de problème particulier de compréhension, mais la cause de son arrêt de migration est moins évidente. Sa limite inférieure de concentration est souvent nette et régulière, elle ne correspond pas à une compaction ou à une hétérométrie granulométrique particulière du microhorizon sous-jacent dont la densité apparente décroîtrait plutôt en même temps que la dislocation de son fond matriciel. Elle reproduit, par contre, la limite d'extension d'une couche d'air comprimé dont la détente intervient au moment de la phase de vidange de la lame d'eau détenue superficiellement. Cette détente gazeuse amène le regroupement des éléments plasmiques dispersés par la saturation hydrique dans un matériau délié.

Au fur et à mesure que progresse la dessiccation, les grains du squelette deviennent jointifs et c'est alors que des différences se manifestent dans les modalités de la concentration du plasma en raison de la granulométrie des grains du squelette et de l'état du plasma.

• Si la phase plasmique est pseudocolloïdale (cristallites fins de smectites hydratées et réhydratables), elle s'insinue facilement entre les grains du squelette. Elle s'y condense en un trait laminaire dont la densité, la profondeur et la régularité dépendent du classement des grains du squelette et de la rapidité de la dessiccation. Ces concentrations laminaires de particules plasmiques colloïdales (LPC) sont d'autant plus étanches que les grains du squelette sont mieux classés (sables éoliens d'OURSI 1, de GALMI 1 p. ex.)

Si la phase plasmique est constituée de particules pectisées en granules (micro-agrégats et papules), sa migration est plus rapidement freinée par agglomération entre les interstices des grains. Sa concentration est aussi moins dense, sa limite peut devenir diffuse, et ce, d'autant plus que les grains du squelette sont hétérométriques (ce qui caractérise plutôt les sols sur roches ignées). Ces concentrations laminaires de particules plasmiques pectisées (LPP) forment des barrières hydrodynamiques moins étanches que précédemment.

La formation de ces concentrations laminaires s'accompagnent de l'apparition de vésicules sphériques à l'intérieur du trait laminaire ou dans sa limite supérieure ou dans le microhorizon sableux sus-jacent contenant encore suffisamment de plasma pour pouvoir constituer des "chambres étanches". La

diffusion gazeuse peut également provoquer une réticulation des éléments disloqués du fond matriciel sous-jacent ou des grains sableux du microhorizon sus-jacent.

Ces types de concentrations plasmiques s'associent différemment selon les domaines pédoclimatiques et les situations expérimentales. Il en résulte des dynamiques superficielles sensiblement différentes qui peuvent être résumées à l'aide de quelques schémas illustrant la distribution des concentrations plasmiques sur des surfaces élémentaires et la répartition des infiltrabilités qui leur sont liées.

• Surface sableuse à sablo-faiblement argileuse, naturelle, zone sèche

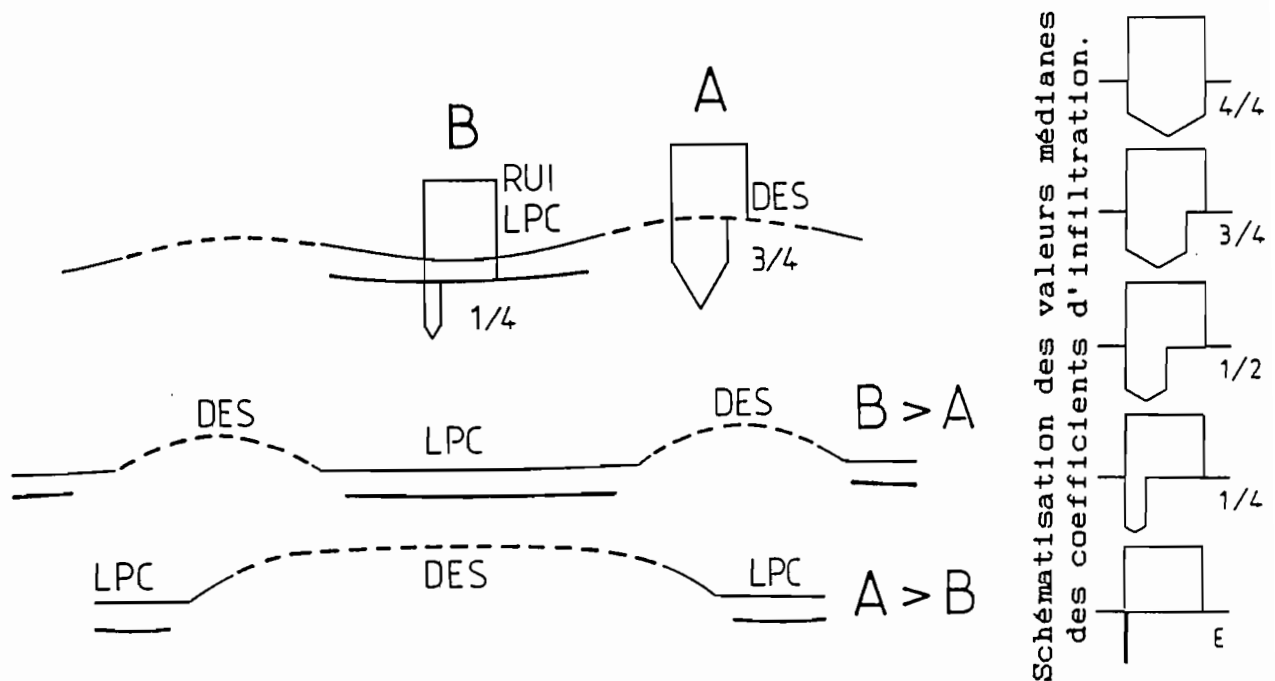


Fig. V.44.: Surface élémentaire de sol "naturel", sableux à sablo-faiblement argileux, en zone sèche  
⇒ concentrations plasmiques et infiltrations résultantes.

La surface schématisée sur la figure V.44. présente les caractéristiques suivantes :

- micromodelé peu accentué,
- A, surface exondée : mince concentration plasmique de dessiccation (DES) détruite et reconstituée à l'issue de chaque averse - microhorizons sous-jacents perméables sans trait laminaire ⇒ infiltration forte (3/4 de l'averse),
- B, surface submersible : faible classement des éléments détachés, transportés et déposés (RUI) - surimposition dans ces dépôts d'une concentration plasmique laminaire colloïdale profonde (LPC) ⇒ infiltration faible (1/4),
- sur l'ensemble du système, c'est la répartition des surfaces respectivement occupées par les situations A et B qui détermine le coefficient d'infiltration de l'ensemble :
  - . sur les sables éoliens (OURS I 1 par ex.) : A >> B,
  - . sur granite (OURS I 3 par ex.) : B >> A

• Surface sableuse à sablo-faiblement argileuse, naturelle, zone humide

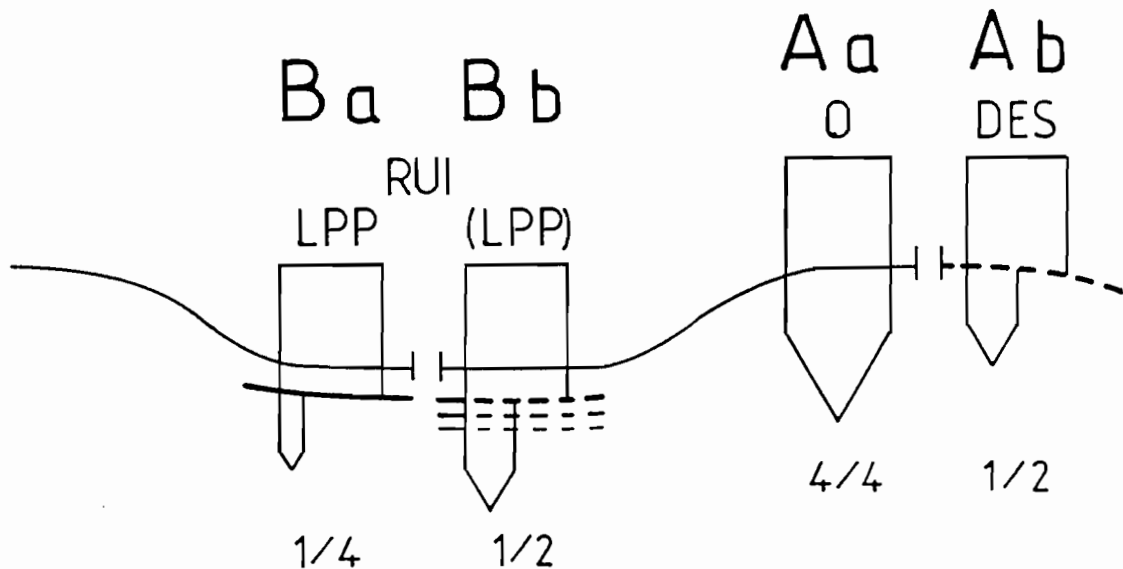


Fig. V.45.: Surface élémentaire de sol "naturel", sableux à sablo-faiblement argileux, en zone humide  
⇒ concentrations plasmiques et infiltrations résultantes.

La surface précédente présente les caractéristiques suivantes :

- micromodelé marqué, nette individualisation des drains - en topographie faiblement ondulée ⇒ descente simultanée des surfaces A et B - en topographie plus accidentée ⇒ accentuation de l'encaissement des drains B,

- A, surface exondée : genèse des organisations liée à la détachabilité d'où deux configurations selon l'intensité des pluies :

- . pour de fortes intensités (A a), l'ablation due au splash ravive la surface, les porosités des horizons remaniés par la faune débouchent sur la surface, aucune concentration plasmique superficielle (O), matrice agrégée en voie de désagrégation avec évacuation du plasma ⇒ infiltration totale (4/4),

- . pour de faibles intensités (A b), matrice en voie de désagrégation avec mince concentration plasmique superficielle de dessiccation (DES)  
⇒ infiltration moyenne (1/2)

- B, surface submersible :

- . les premiers ruissellements (B a) amènent la formation d'une concentration laminaire profonde d'éléments plasmiques pectisés (LPP) et réticulation des dépôts sableux sus-jacents ⇒ infiltration faible (1/4),

- . les ruissellements ultérieurs (B b) n'apportent qu'une faible interstratification de dépôts car ceux-ci, fragiles, sont plus ou moins érodés à chaque ruissellement ⇒ infiltration moyenne (1/2),

- sur l'ensemble de la surface (A + B), l'infiltration reste constamment plus importante sur les points hauts (A). En modelé ondulé, les

superficielles occupées par les organisations A et B sont équivalentes. En modelé accidenté, les drains B s'encaissent et la perméabilité du système est de plus en plus contrôlée par la partie A  $\Rightarrow$  les régimes d'infiltration subissent l'influence des **variations de la détachabilité**, celle-ci est faible avec de forts coefficients de ruissellement pour des intensités de pluies faibles, elle devient forte avec des coefficients de ruissellement plus faibles pour des intensités de pluies fortes.

En résumé, en **zone humide**, la détachabilité restaure l'infiltrabilité du sol parce que les concentrations laminaires plasmiques profondes sont moyennement étanches et instables et que les horizons sous-jacents sont poreux. En **zone sèche**, l'infiltrabilité reste faible parce que les concentrations laminaires plasmiques profondes sont étanches et stables pendant la majeure partie de la saison des pluies.

• *Surface argilo-sableuse, naturelle, zone sèche*

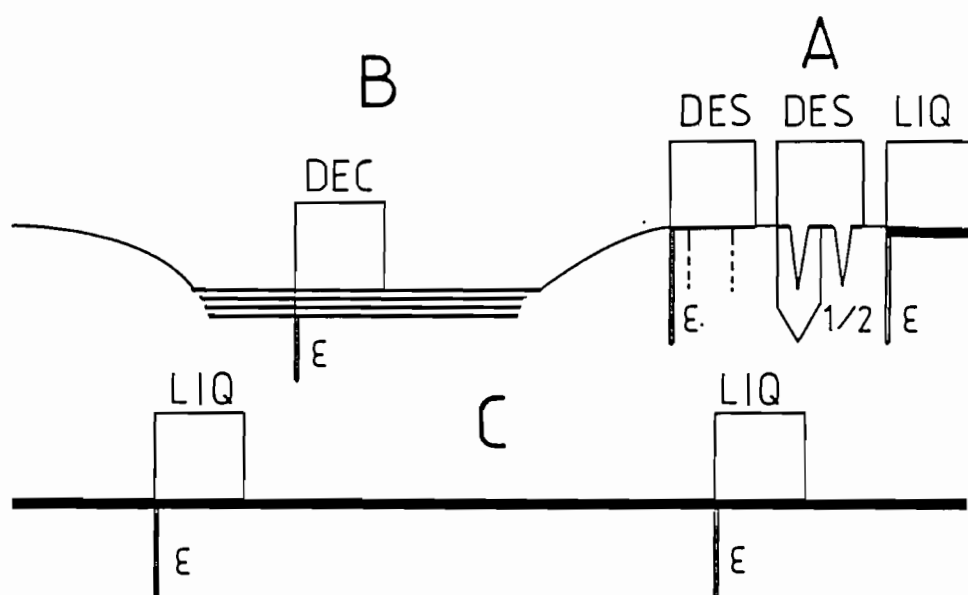


Fig. V.46.: Surface élémentaire de sol "naturel", argilo-sableux, en zone sèche  $\Rightarrow$  concentrations plasmiques et infiltrations résultantes.

Cette surface se présente de la façon suivante :

- micromodelé instable : les surfaces exondées (A) correspondent aux ensablements éoliens actuels plus ou moins fixés par un couvert herbeux. Les surfaces submersibles (B), déjà très étendues en début de saison des pluies, représentent la quasi-totalité du système en pleine saison des pluies,

- sur la partie exondée A, la sursaturation hydrique superficielle provoque la fonte des premiers horizons. Il convient de distinguer deux cas de figures :

. sursaturation importante en l'absence d'un réseau de fissures verticales (LIQ)  $\Rightarrow$  infiltration très faible à nulle ( $\epsilon$ ),

. sursaturation moins générale en présence d'un réseau de fissures (DES)  $\Rightarrow$  régime d'infiltration double : moyen avant la fermeture des fissures (1/2), très faible à nul après la fermeture ( $\epsilon$ ),

- la partie submersible B recueille les éléments détachés et transportés depuis les parties A, il s'y produit une interstratification de lames argileuses et de lames limono-sableuses (DEC)  $\Rightarrow$  infiltration très faible à nulle ( $\epsilon$ ),

- en pleine saison des pluies, la partie submersible constitue la totalité de la surface (C) qui s'est aplanie par la fluence de A et les comblements de B. La liquéfaction par sursaturation hydrique est générale (LIQ), la sursaturation se produit de 0 à -5cm, l'engorgement de -5 à -45 cm, le sol est peu humide à sec en dessous (OURS 2 par ex.)  $\Rightarrow$  infiltration générale très faible à nulle ( $\epsilon$ ).

• Surface argilo-sableuse, sol naturel, zone humide

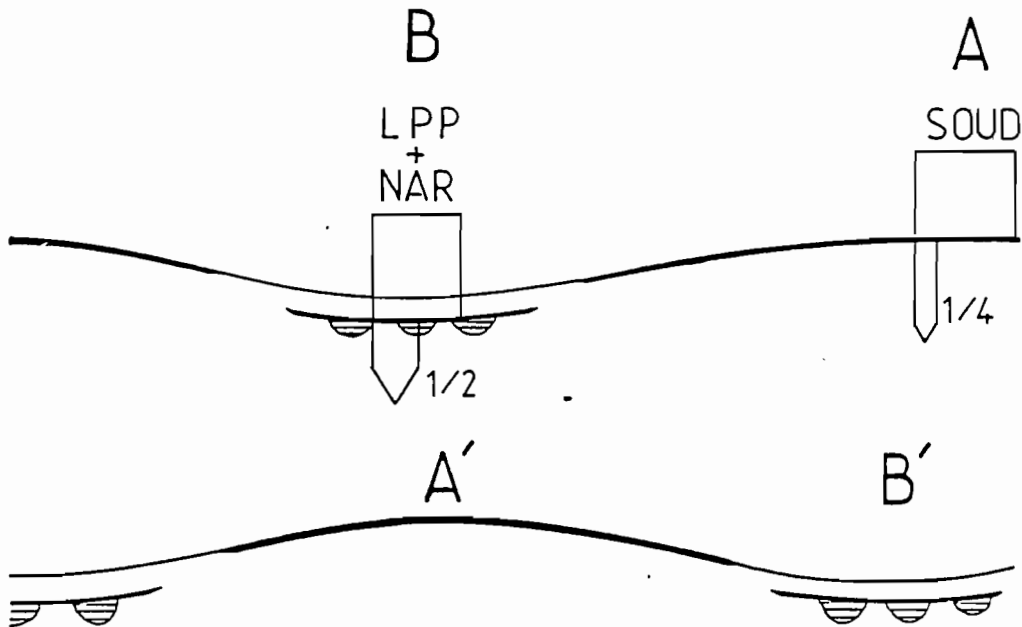


Fig. V.47.: Surface élémentaire de sol "naturel", argilo-sableux, en zone humide  $\Rightarrow$  concentrations plasmiques et infiltrations résultantes.

Cette surface évolue de la façon suivante :

- le micromodelé est peu marqué à cause de la divagation des drains pendant la saison des pluies,

- sur la partie provisoirement non submergée A se produit une concentration plasmique superficielle par désagrégation et soudure des éléments structuraux des microhorizons sous-jacents (Soud)  $\Rightarrow$  infiltration faible (1/4),

- sur la surface provisoirement submergée B, on n'observe pas ou peu de systèmes de décantation (DEC) car la remobilisation et l'entraînement des dépôts est permanente. Il s'y constitue des concentrations laminaires profondes d'éléments plasmiques pectisés (LPP) auxquelles s'ajoutent des néoargilanes (NAR) se plaquant sous le microhorizon précédent  $\Rightarrow$  infiltration moyenne (1/2).

• Surfaces des sols sableux à sablo-faiblement argileux, labourées, zones sèches (A) et humides (B)

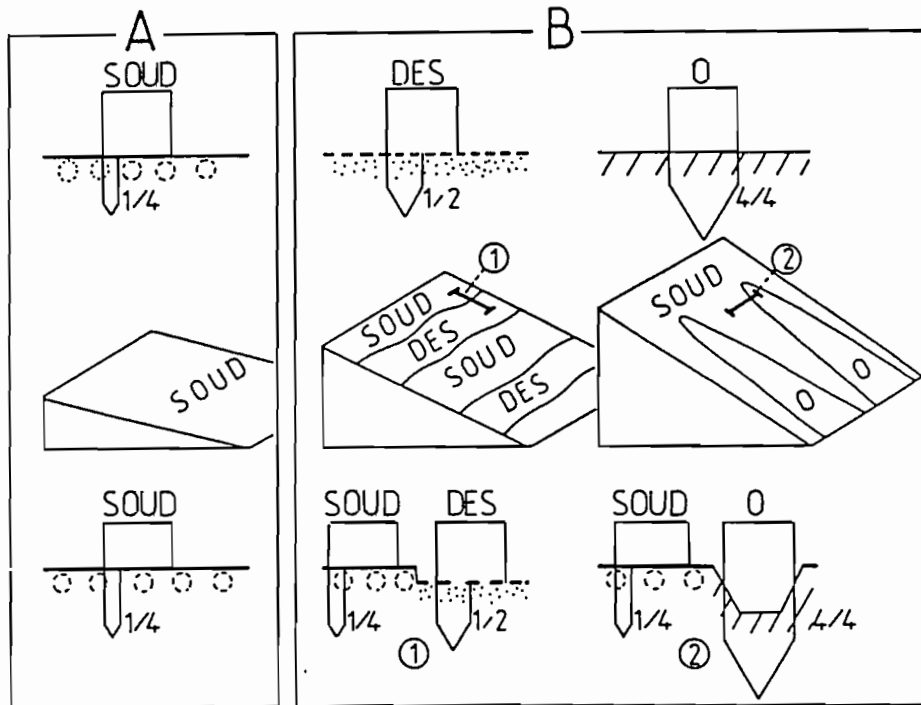


Fig. V.48.: Surfaces élémentaires de sols "labourés", sableux à sablo-faiblement argileux, des zones sèches (A) et humides (B) ⇒ concentrations plasmiques et infiltrations résultantes.

Ces deux surfaces présentent les caractéristiques suivantes :

- micromodelé : la rugosité du champ est faible à moyenne avant l'averse, l' aplanissement total du champ intervient rapidement dès les premières averses et ce, quel que soit le domaine pédoclimatique. Mais les évolutions ultérieures sont liées à la pente topographique.

- en A et en B la désagréation des mottes est quasi totale en profondeur, elle n'est que partielle immédiatement sous la concentration plasmique superficielle formée tant par soudure de reliquats de mottes (SOUD) que par la dessiccation (DES),

- les infiltrations sont liée aux modalités de l'érosion, elles-mêmes fonction de la pente topographique, en effet :

- . sur les pentes faibles (< 1,0%, situation prévalant dans les zones sèches), la capacité érosive du courant est limitée par une faible vitesse (effet pente), l'érosion en nappe prédomine, il se maintient, ou se reforme constamment une mince pellicule superficielle (SOUD) ⇒ infiltration faible (1/4),

- . sur les pentes plus fortes (> 3% ,situation fréquente en zone humide), la vitesse du courant de ruissellement devient telle qu'elle amène une concentration occasionnelle ou continue de l'érosion. La pellicule superficielle s'érode, il en subsiste soit des bandes perpendiculaires à la ligne de plus grande pente (pentes moyennes : de 3 à 5%), soit des surfaces séparées par des incisions parallèles à la pente (pentes fortes : > 5%) et l'infiltration moyenne du système résulte de la combinaison de ces modes de détachabilité.



• Surfaces de sols argilo-sableux, labourées, en zones sèches (A) et humides (B)

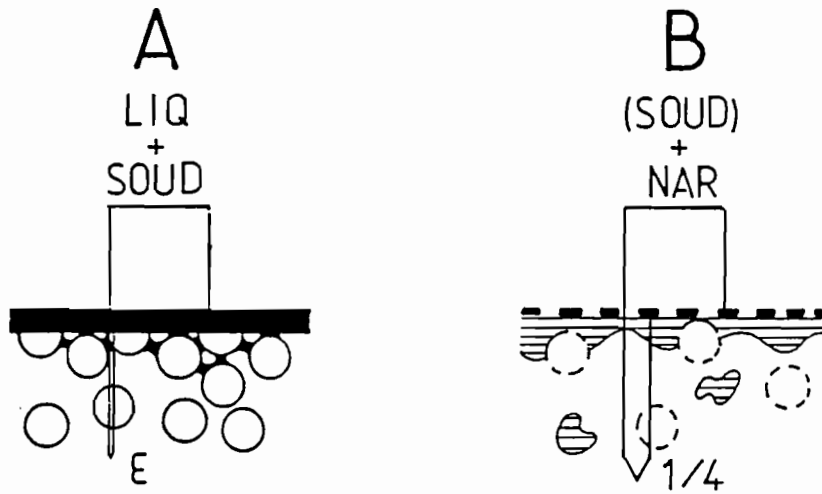


Fig. V.49.: Surfaces élémentaires de sols "labourés", argilo-sableux des zones sèches (A) et humides (B)  
 ⇒ concentrations plasmiques et infiltrations résultantes.

Ces surfaces présentent les caractéristiques suivantes :

- micromodelé : la rugosité initiale des champs est importante en zone sèche et en zone humide, mais les aplanissements consécutifs aux premières averses diffèrent selon les zones : il est généralisé et rapide en zone sèche et plus progressif et hétérogène en zone humide. On n'observe pas ou peu d'influence de la pente topographique.

- dans les domaine isohumiques et ferrugineux, A, la fusion des mottes superficielles amène la formation d'une concentration plasmique superficielle épaisse (LIQ + SOUD) et un colmatage important de la porosité. Les mottes sous-jacentes sont alors plus ou moins protégées contre une poursuite de la désagrégation ⇒ infiltration très faible à nulle ( $\epsilon$ ) et ce, même sur les sols caractérisés par un double régime d'infiltration en leur état naturel à cause du colmatage des fissures débouchant en surface,

- dans le domaine ferrallitique B la désagrégation des mottes amène une concentration plasmique superficielle de granules pectisés plus ou moins ressoudés (SOUD). Les mottes sous-jacentes poursuivent leur désagrégation. On observe une libération et une accumulation plus ou moins diffuses de néoargilanes dans la masse de l'horizon ⇒ infiltration faible ( $1/4$ ) à moyenne car la pellicule superficielle est peu étanche et les néoargilanes sont remobilisés lors de chaque averse.

Les sols récemment labourés ne présentent jamais de concentrations plasmiques laminaires profondes, les seules barrières hydrodynamiques sont donc superficielles, leur étanchéité dépend de la vitesse de désagrégation des mottes donc de leur diamètre initial, donc la texture et de la nature des colloïdes argilo-humiques



## CONCLUSION GENERALE

### UNE CONTRIBUTION A L'ETUDE DE LA DYNAMIQUE ACTUELLE DES SOLS ...

Différentes campagnes de simulation de pluies sur parcelles expérimentales ont permis de mener une étude sur la dynamique actuelle de toute une série de sols représentatifs des domaines pédoclimatiques de l'Ouest africain depuis la zone sahélienne jusqu'à la zone guinéenne.

Dans le programme couvert par la dynamique actuelle des sols cette contribution a essentiellement porté sur la circulation superficielle des eaux pluviales ainsi que sur la mobilisation et le transport des éléments solides et pseudosolubles.

Ce sujet s'inscrit dans un continuum d'actions de recherches de nombreux collègues. Il n'est certainement pas épuisé compte tenu de la complexité des systèmes naturels étudiés. Les difficultés de leur étude se résument en quelques points :

- les composantes du milieu naturel conditionnant cette dynamique se réduisent difficilement en paramètres simples,
- le choix des paramètres, qui paraissent les plus efficaces, conduit plus souvent à une prédiction qu'à une compréhension des fonctionnements,
- l'imitation du fonctionnement des systèmes naturels introduit une bonne part de simplification dont on connaît mal la dérive de l'information,
- de ce fait, l'extrapolation des données expérimentales dans l'espace et dans le temps reste, encore actuellement, une opération à risques malgré les améliorations des techniques expérimentales.

### ...,UTILISANT UNE DEMARCHE FAITE DE NOMBREUX EMPRUNTS METHODOLOGIQUES (Troisième Partie) ...

On a en effet combiné les méthodes naturalistes et expérimentales. L'observation des milieux naturels a permis de sélectionner les sites les plus représentatifs tout au long d'un transect latitudinal. Différentes échelles d'observations ont permis d'appréhender successivement la morphologie des mailles interfluves, les différenciations toposéquentielle ou géoséquentielle des couvertures pédologiques, la distribution des organisations et la micromorphologie des horizons superficiels des sols.

Ruissellement et érosion ont été suivis sous pluies simulées, sur des parcelles expérimentales de cinquante mètres carrés, procédure qui permet de s'affranchir des aléas des précipitations naturelles et de maîtriser la multitude des paramètres intervenant, plus ou moins simultanément, sous ces averses. La mobilité de l'appareil et des dispositifs annexes a autorisé la multiplication et l'exploitation rapide des situations expérimentales, donc de suivre les réactions hydrodynamiques et érosives de toute une série de types de sols, de couverts végétaux et de techniques culturales.

### **...ET APPLIQUEES A DES COUVERTURES REPRESENTATIVES DE TROIS DOMAINES PEDOLOGIQUES (Deuxième Partie).**

92 parcelles correspondant à 27 sites expérimentaux ont été installées et exploitées depuis le nord du Burkina Faso (OURSI, 14° 37' N.) jusqu'au sud-ouest de la Côte d'Ivoire (TAÏ, 5°20' N.) à l'occasion de 8 missions de terrain entre les années 1975 et 1980.

L'étude couvre ainsi les zones sahéliennes, soudaniennes et guinéennes dont les pluviométries moyennes passent de 400 à 2000 mm/an, qui sont caractérisées par des régimes à une puis à deux saisons des pluies, par une régularité croissante des précipitations vers le sud mais aussi, et surtout, par un isodéficit interannuel moyen passant de 1800 mm dans le sud Niger (10 mois secs /12) à 200 mm dans le sud de la Côte d'Ivoire.

L'originalité du transect repose sur la multiplicité des régions naturelles où héritages paléomorphologiques et substratums combinent leurs effets : échelonnement des surfaces d'abrasion cuirassées ou gravillonnaires sur les granites précambriens au Burkina Faso et en Côte d'Ivoire, interruption des chaînons schisteux birrimiens, recouvrements dunaires Quaternaire dans le nord, entablements gréseux dans le centre, entaille du bassin sédimentaire Tertiaire du sud Niger.

Les essais se sont déroulés sur des sols se rattachant aux trois grands domaines pédologiques suivants :

- domaine isohumique du sud Niger et du nord Burkina Faso avec des sols lithodépendants bruns sub-arides ou ferrugineux lessivés sur les entailles des versants (GALMI 2, 3, 4 ; OURSI 1, 2, 3), ferrugineux peu lessivés sur le plateau gréseux du Continental Terminal (GALMI 1),
- domaine ferrugineux sur la plus grande partie du Burkina Faso où les différenciations toposéquentielles prennent de l'importance entre des amonts monosiallitiques (POUNI 1, 2 ; SAINT PAUL 1, 2<sup>nd</sup> ; LOUMBILA 1), et des avals plus souvent bisiallitiques (POUNI 3 ; BATANGA 1),
- domaine ferrallitique de Côte d'Ivoire aux sols généralement peu épais se distribuant assez classiquement entre des sommets argileux, partiellement cuirassés ou gravillonnaires (KORHOGO 1, 2, 3 ; SAKASSOU 1, 2, 4 ; TAÏ 1) et des bas de versant plus sableux, parfois carapacés (TAÏ 3) ou des sols hydromorphes (KORHOGO 5 ; SAKASSOU 3).

## OU LE RUISSELLEMENT DEPEND DE L'ORGANISATION STRUCTURALE DES SURFACES ET L'EROSION DE LA NATURE DES CONSTITUANTS

Un premier niveau d'analyse a permis d'identifier des comportements hydrodynamiques et érosifs globaux.

### RUISSELLEMENT

- La comparaison latitudinale est riche d'informations en ce qui concerne la genèse des ruissellements avec une dynamique superficielle, latérale, et pour tout dire, simplifiée dans les couvertures pédologiques des zones sèches et une dynamique essentiellement profonde, verticale ou oblique dans les couvertures des zones humides.

- La partition des régimes de ruissellement est relativement abrupte car elle correspond à une limite bioclimatique donnant la prédominance aux remaniements physiques dans le nord et aux remaniements biotiques dans le sud :

- ces régimes dépendent de l'édification et de la stabilité d'organisations méso- et micropédologiques contrôlant, dès la surface, la conductivité hydraulique des sols des zones sèches. Cette simplification des dynamiques limite alors considérablement la portée des informations de nature morphogénétique.

- une reprise et une pérennité, dans le domaine sub-soudanien (10° Nord) des activités biotiques végétales (essentiellement pérennité des systèmes racinaires) et animales, déstabilisent pendant de long mois les organisations précédentes et restaurent une infiltration profonde, d'où une complexité croissante des régimes en allant vers le sud.

- Cependant, les sols vertiques et les sols gravillonnaires échappent à la règle et adoptent des comportements azonaux : les premiers à cause de la dynamique structurale de leurs horizons superficiels, les seconds par le maintien d'une importante conductivité dès la surface.

### EROSION HYDRIQUE

- La comparaison latitudinale est par contre, beaucoup moins déterminante en ce qui concerne l'érosion des sols, essentiellement à cause d'une importante dispersion de leur détachabilité estompant la limite bioclimatique de régime de ruissellement précédente. Le rôle des constituants l'emporte sur celui des organisations avec deux extrêmes liés à la nature minéralogique des argiles : les phénomènes de dispersion par simple hydratation prédominent dans les zones sèches, les phénomènes de désagrégation par impact l'emportent dans les zones humides.

- Aussi, les fourchettes d'érosion des sols labourés varient-elles fortement à l'intérieur des différents domaines (érosivité 500 points):

- isohumique  $\Rightarrow$  2 à 20 T/ha
- ferrugineux  $\Rightarrow$  0,05 à 7 T/ha
- ferrallitique  $\Rightarrow$  0,2 à 35 T/ha

.. Sur ces sols labourés, les érosions minimales correspondent soit à la conjonction de faibles détachabilités et de faibles ruissellements, soit à la seule diminution de la détachabilité. La détachabilité est limitée par une interception de l'énergie des pluies. Cette interception est liée soit à des épandages d'éléments grossiers  $\Rightarrow$  faible détachabilité + faible ruissellement, soit à l'épaississement et à la répartition homogène de la lame ruisselante pendant la phase de régime permanent du ruissellement  $\Rightarrow$  faible détachabilité + fort ruissellement.

.. Les érosions maximales coïncident avec deux extrêmes de stabilité structurale. Elles correspondent aux sols isohumiques ou bruns tropicaux vertiques à forte charge magnésienne du complexe absorbant (Is > 3,0), ou alors aux sols ferrallitiques forestiers à stabilité restaurée par les composés humiques (Is # 1,0). Dans le premier cas il se produit une "liquéfaction" des horizons supérieurs lors de la sursaturation hydrique de la phase plasmique totalement dispersable. Dans le second cas, et c'est paradoxal, c'est la plus importante stabilité qui maintient une rugosité suffisante pour assurer une répartition hétérogène de la lame ruisselante donc la permanence du splash.

• Sur les sols en leur état naturel, c'est surtout la vitesse du courant de ruissellement qui fera la différence. La résistance au détachement est renforcée par toutes "armatures" naturelles des premiers centimètres. Les sols, où les recrûs du début de saison des pluies sont essentiellement dus aux germinations (sahel), s'opposent alors nettement aux sols où ces recrûs résultent du tallage à partir d'un système racinaire fasciculé ou traçant pérenne (zones soudano-guinéennes et guinéennes),

#### **DISPARITE DES SITUATIONS MAIS MANIFESTATION REPETITIVE D'UN NOMBRE RESTREINT DE PROCESSUS**

L'analyse des comportements globaux a dégagé des voies de recherches sur les mécanismes intimes d'une érosion considérée comme le résultat du produit : détachabilité  $\times$  débit de ruissellement. On s'est alors attaché à isoler les facteurs intervenant sur les deux termes du produit en considérant :

- ceux résultant des contraintes d'origine pluviale,
- ceux liés à la composition des sols,
- ceux liés à leur organisation.

#### **CONSTRAINTES D'ORIGINE PLUVIALE**

• L'hypothèse de départ d'une relation univoque entre la détachabilité et l'érosivité est mise en défaut pour la simple raison que les variations d'énergie des averses consécutives ne s'appliquent pas au même matériau. Ses caractéristiques évoluent avec le cumul des énergies et l'on constate deux comportements :

.. soit une stabilisation des organisations superficielles repérable par la conjonction d'un effet splash de courte durée et d'une abrasion en nappe peu intense,

.. soit une dégradation du sol liée à la conjonction d'un splash sub-permanent et d'une abrasion concentrée.

• L'énergie des pluies, à l'origine du splash, est dissipée par toute structure interceptrice naturelle, mais aussi par la lame d'eau ruisselante dont la hauteur et la répartition sont liées à l'hétérogénéité de la conductivité et à la microtopographie des sols. Cette interception est ainsi rapidement atteinte par un effondrement des structures, entraînant un lissage des parcelles et une limitation de la conductivité sur les sols meubles des zones sèches.

• L'érosion résulte également de l'abrasion du courant de ruissellement qui a pu être distinguée de celle due au splash en suivant l'évolution des charges solides des averses individuelles. Mais, la mesure directe, ou le calcul, de la vitesse des écoulements, montrent que l'on se situe généralement dans les limites de faible détachement pour les limons et les sables et dans des détachements nuls pour les particules plus fines. Ce paradoxe entre le constat d'érosions en nappe ou d'érosions concentrées et ces vitesses d'abrasion limites ou insuffisantes s'explique :

• d'une part par la mobilisation de micro-agrégats détruits par l'analyse granulométriques,

• d'autre part par l'effet intégrateur de la parcelle qui occulte les accélérations ou décélérations locales du courant liées aux modifications de largeur des drains collectant le ruissellement.

• L'humectation préalable des sols agit en modifiant la durée de la phase d'imbibition ( $P_i$ ), l'intensité du ruissellement ( $R_x$ ), les caractéristiques mécaniques du sol. Ces trois effets sont modulés par la texture et la nature minéralogique des argiles :

• l'allongement de la phase d'imbibition avec l'augmentation du déficit hydrique renforce la composante splash de l'érosion globale sur sols sableux,

• qu'il s'agisse des zones sèches ou des zones humides, le régime permanent du ruissellement s'instaure plus rapidement sur les sols argileux que sur les sols sableux. Dans le premier cas, la conductivité est fixée rapidement par des concentrations plasmiques superficielles. Dans le second cas, ces lames plasmiques ne se constituent que plus progressivement et plus profondément,

• à une humectation donnée correspondent des états mécaniques différents selon la nature minéralogique des argiles. C'est ainsi que la détachabilité des sols à argile kaolinitique est unimodale, celle des sols à argiles smectitiques est bimodale et fournit deux maximums : l'un pour leur sursaturation hydrique, l'autre pour leur ultradessiccation

#### COMPOSITION DES SOLS

• la nature minéralogique des argiles influe sensiblement sur la dynamique actuelle des sols :

• par une plus ou moins grande tendance à la dispersion dans des conditions de sursaturation  $\Rightarrow$  influences évoquées précédemment sur la conductivité et sur la détachabilité,

• par les variations du volume apparent des structures superficielles sous les effets des alternances d'humectation et de dessiccation  $\Rightarrow$  ces sols à argile gonflante sont caractérisés par un double régime d'infiltration à l'ouverture puis à la fermeture des fentes débouchant sur la surface (BATANGA p. ex.),

.. par une plus ou moins grande aptitude à se peptiser avec adsorption d'oxy-hydrates métalliques, ce qui a des répercussions importantes sur la genèse et la conductivité des organisations pelliculaires superficielles.

• Deux relations significatives relient la détachabilité des sols meubles labourés à la distribution des fractions granulométriques :

.. l'enrichissement en sables grossiers de sols contenant 20 à 30 % d'argile entraîne une diminution sensible de cette détachabilité. Ceci confirme les résultats de travaux antérieurs et s'interprète comme une diminution concomitante de pores de faible diamètre facilitant l'éclatement des agrégats pendant la phase d'imbibition,

.. sur les sols sableux étudiés (3 à 15. % d'argile), la détachabilité diminue par contre avec une augmentation du taux d'argile, suffisante pour créer des ponts plasmiques entre les grains du squelette et renforcer la cohésion pendant la phase d'imbibition,

• Les épandages superficiels d'éléments grossiers interviennent de différentes façons:

.. en interceptant l'énergie cinétique des pluies,  
 .. en augmentant la rugosité du sol et en limitant ainsi l'accélération de la vitesse du courant,  
 .. en modifiant, pour des recouvrements peu denses, la nature du flux qui de laminaire devient turbulent pour un seuil de pente donné,  
 .. la position de ces éléments (posés ou enfoncés) influe sur l'infiltrabilité en limitant plus ou moins la constitution des concentrations plasmiques.

• La sélectivité de l'érosion hydrique, par tri granulométrique aboutit à une péjoration des caractéristiques structurales allant dans le sens :

.. d'une prise en masse et d'une compaction des sols argileux où l'érosion sera de plus en plus liée à une augmentation des ruissellements,  
 .. d'une diminution de la cohésion par départ de plasma dans les sols sableux où l'érosion sera de plus en plus liée à une augmentation de la détachabilité.

## **DE LA PARCELLE AUX INTERFLUVES, LE DROIT A L'EXTRAPOLATION ?..**

La synthèse des résultats a autorisé une schématisation des évolutions des érosions hydriques sur des situations expérimentales représentatives. Ces évolutions, sous les dépendances du splash et de l'abrasion du courant, ont été représentées sous la forme de blocs-diagrammes, en tenant compte de : la granulométrie des horizons superficiels, la nature des argiles, la pente topographique, la charge en éléments grossiers, le traitement de la parcelle (chapitre XIV).

L'extrapolation des processus depuis la parcelle jusqu'aux interfluves peut être envisagée :

- en zone humide parce que les ensellements de versants y sont de dimension modeste (quelques hectares), que la distribution toposéquentielle



des régimes d'infiltration est généralement régulière avec une diminution progressive de la perméabilité de l'amont vers l'aval,

- en zone sèche, où c'est, en fait, la simplification des dynamiques qui permet de compenser les distorsions consécutives à une extension des superficies (quelques kilomètres carrés) ce que prouvent des travaux récents ou en cours.

• 1er exemple d'un domaine ferrallitique perhumide caractérisé par des versants courts (0,3 à 0,5 km), exclusivement convexes, très pentus, à couverture pédologique homogène sur l'ensemble du versant (sol argileux kaolinique non gravillonnaire)  $\Rightarrow$  l'érosion est faible pour deux raisons :

•• prédominance d'une érosion en nappe de faible intensité sur l'ensemble du modelé car la vitesse critique d'ablation du courant n'est jamais atteinte sur des sols contenant souvent plus de 50 % d'argile,

•• la capacité érosive et la capacité de transport sont limitées parce que la lame ruisselante reste peu épaisse du fait de versants courts.

• 2ème exemple d'un domaine ferrallitique sub-humide caractérisé par des versants courts (0,7 à 1,5 km), convexo-concaves, pentus, à couverture pédologique hétérogène (sol argilo-gravillonnaire en sommet passant à sablo-argileux en aval, isodifférenciation d'horizons à flux verticaux puis de plus en plus latéraux) :

•• érosion en nappe faible à nulle en sommet,

•• érosion en nappe moyenne dès la première rupture de pente par turbulence du flux sur des épandages grossiers de moins en moins denses,

•• forte érosion en nappe et érosion concentrée occasionnelle avant la seconde rupture de pente sur des sols sablo-argileux où la capacité érosive du courant est maximum (eaux peu chargées + pente forte),

•• érosion concentrée faible au-delà de la concavité, dépôts par perte de compétence du courant (charge excessive + pente faible),

•• l'exportation des sédiments dans le réseau se fait par à-coups lors des événements paroxysmaux par incision ravinante de l'aval préparée par une suffosion liée aux flux latéraux hypodermiques.

• 3ème exemple d'un domaine ferrugineux caractérisé par des versants longs (3 à 5 km), rectilignes à légèrement concaves, peu pentus, à couverture pédologique hétérogène (argilo-sableux gravillonnaire en amont et sableux ou argileux, smectitique, en aval) :

•• érosion en nappe prédominant sur les 2/3 du versant car la vitesse du courant est régulée par les variations de l'épaisseur de la lame ruisselante sur une mosaïque de surfaces d'infiltrabilités différentes,

•• érosion concentrée en aval sableux, malgré une pente faible (< 3 %), à cause d'une augmentation de l'épaisseur de la lame ruisselante avec la longueur du versant, et forte érosion en nappe en aval argileux par liquéfaction du sol,

• 4ème exemple d'un domaine isohumique à très long versant rectiligne (5 à 10 km), très peu pentu (< 0,5 %), la différenciation des sols devient plus géoséquentielle que toposéquentielle, la distribution des organisations superficielles est plus aléatoire que précédemment et la notion d'une dynamique commandée par une répartition ordonnée des surfaces

perd sa signification. La propagation des écoulements vers l'exutoire dépend alors de l'ordre de fonctionnement des zones génératrices de ruissellement donc, parfois également, de l'homogénéité des précipitations sur les plus grands modelés.

## **LE CONTROLE DES REGIMES D'INFILTRATION PAR LES CONCENTRATIONS PLASMIQUES SUPERFICIELLES ET SUB-SUPERFICIELLES**

A une infiltration essentiellement verticale conditionnée par les caractéristiques porales, la différenciation des horizons et la nature de leur transition dans les zones humides s'oppose une dynamique raccourcie en zone sèche où les différences d'infiltrabilité ne doivent plus être recherchées verticalement mais latéralement au niveau des organisations méso-et microstructurales de l'extrême surface du sol.

Les principales barrières hydrauliques sont constituées par des concentrations plasmiques fonctionnant de façon intermittente dans le sud, de façon quasi permanente dans le nord.

- Ces concentrations plasmiques contrôlent d'autant plus étroitement la conductivité qu'elles s'organisent en traits laminaires denses et réguliers, caractères dépendant de la nature minéralogique des argiles, de la dimension des cristallites, de leur susceptibilité à la dispersion, des modalités de leur migration, de la dimension et de la forme des grains du squelette,

- Elles peuvent se former dès la surface du sol :

- par dessiccation des charges solides contenues dans le film d'eau couvrant les zones émergées, elles ne constituent pas une barrière hydrodynamique très efficace car elles se détruisent et se reforment à chaque averse,

- par fusion partielle et soudure des agrégats ou des mottes de labour,

- par décantation des sédiments abandonnés dans les zones submersibles à l'issue de chaque ruissellement, particulièrement épaisses sur les sols vertiques, elles sont très étanches,

- par fusion totale des horizons sursaturés en eau, ses éléments ne sont pas triés, très étanche à l'état plastique, elles se fissent à l'état sec,

- D'autres concentrations plasmiques se forment plus profondément sur l'ensemble des domaines étudiés mais seulement sur les sols non récemment travaillés et sur ceux contenant moins de 25 % d'argile. Leur formation a été suivie en faisant coïncider les prélèvements d'échantillons de surface avec les phases caractéristiques du ruissellement :

- entraînement descendant d'éléments plasmiques superficiels et condensation ascendante du plasma provenant de la matrice partiellement ou totalement dispersée par dislocation du fond matriciel pendant la phase d'imbibition,

- la limite de concentration plasmique, le plus souvent nette et régulière, ne correspond pas, au moins dans les sites de cette étude, à une

compaction des microhorizons sous-jacents mais à la limite d'extension d'une couche d'air provenant du dégazage des porosités pendant l'infiltration,

.. comprimé pendant la phase de ruissellement, la détente de l'air pendant la phase de vidange amène un regroupement des éléments plasmiques dispersés par saturation hydrique dans un matériau délié. Avec la dessiccation, les grains du squelette deviennent jointifs, c'est alors qu'apparaissent des différences dans les modalités de la condensation du plasma :

... une phase plasmique colloïdale de cristallites fins dispersables et réhydratables (illites et smectites des zones sèches) s'insinue facilement entre les grains du squelette et forme finalement un trait laminaire étanche même s'il est peu épais,

... une phase plasmique d'éléments pectisés en granules (micro-agrégats kaoliniques des zones humides) voit sa migration freinée par agglomération entre les interstices des grains, sa concentration est moins dense et l'étanchéité de la lame reste plus faible,

.. la poursuite de la diffusion gazeuse pendant la dessiccation amène l'apparition de vésicules sphériques (zones sèches et humides) ou une réticulation des éléments disloqués du fond matriciel (zone humide) qui sont tous deux les éléments marqueurs du processus précédent.

La distribution de ces différentes formes de concentrations plasmiques, leurs conductivités intrinsèques, leurs stabilités déterminent l'infiltrabilité des surfaces où elles s'associent ou se juxtaposent depuis les zones sèches jusqu'aux zones humides. Une dizaine de schémas (fig. V.44 à 49) présentent une semi-quantification des infiltrations pour les surfaces les plus caractéristiques.

## **EFFICACITE DES TECHNIQUES CULTURALES SUR LES PLANS DE L'HYDRODYNAMIQUE ET DE L'EROSION**

Les façons culturales traditionnelles visent toutes à augmenter la rugosité du sol. Leur efficacité varie car elles agissent rarement sur une conservation simultanée des eaux et des terres. Les effets du billonnage, du buttage simple, du buttage cloisonné, du paillage ont été testés par rapport à ceux d'un simple labour à plat.

• En ce qui concerne le ruissellement, les gains d'infiltration sont dus à l'allongement de la phase d'imbibition ainsi qu'à l'augmentation de l'intensité minimale d'infiltration. Mais l'amplitude et la durée de ces effets dépendent des techniques :

.. le billonnage isohypse est l'opération la plus efficace sur les sols sableux jusqu'à des pentes n'excédant pas 4 %. Ce seuil doit être abaissé à 2,5 % sur les sols argilo-sableux,

.. le labour paillé arrive en seconde position d'efficacité, il agit aussi en retardant et en limitant le ruissellement mais uniquement sur les sols dont le colmatage est lié au splash ce qui élimine les sols à forte dispersion hydrique des argiles,

.. buttages simples et cloisonnés présentent une efficacité médiocre liée à un colmatage excessif des interbuttes. Retard et limitation du ruissellement n'interviennent que sur les sols sablo-argileux. Seul subsiste l'effet "retard" sur les textures plus fines. Ces techniques n'apportent pas d'amélioration sensible sur les sols gravillonnaires,

• En ce qui concerne la **détachabilité**, deux causes opposent leurs effets : modification de l'angle d'impact des gouttes de pluie et augmentation de la surface spécifique du champ donc du volume de terre potentiellement exportable :

.. il existe un lien entre l'angle d'impact et la stabilité structurale. En zone sèche, l'effondrement plus rapide des façonnements diminue la rugosité aussi les turbidités moyennes ne seront-elles finalement limitées que par la diminution des surfaces spécifiques. En zone humide le seuil d'efficacité est plus durable car l'angle d'impact reste fermé plus longtemps, la turbidité moyenne ne décroîtra cependant pas énormément du fait du maintien d'une surface spécifique élevée,

.. le paillage est la technique anti-érosive la plus efficace sur les sols non gravillonnaires et non vertiques, c'est malheureusement aussi la plus irréaliste dans les zones sèches où les débris végétaux servent de matériaux de construction et sont consommés totalement par le bétail.

Les techniques conservatrices "élaborées" (terrasses, banquettes, enrochements..) façonnant l'interfluve n'ont pas été testées. Les informations dérivées de cette étude, l'observation de leur utilisation en d'autres parties du monde et les reliques encore visibles sur le Continent africain (sahel méditerranéen entr'autres) prouvent que les critiques manifestées à leur égard ne sont pas toutes fondées. Il existe en effet peu de raisons scientifiques pour que ces aménagements soigneusement édifiés et entretenus, restaurés à l'issue d'événements pluviométriques paroxysmaux, puissent servir à nourrir les populations de pays à climats aussi agressifs mais, il est vrai, parfaitement "rodés" en hydraulique agricole depuis des siècles, voire des millénaires.

## **OU L'ON EST FINALEMENT AMENE A FAIRE UNE DIGRESSION SUR LES DYNAMIQUES ANCIENNES**

Comment, dans les zones sèches, des infiltrations déjà insuffisantes pour réhumecter plus de 70 cm de sol pourraient-elles servir à assurer une pédogénèse et, a fortiori, une altérogénèse profonde ?

Il semble admis que l'eau nécessaire à la mobilisation, à la dissolution, à l'entraînement et à la recombinaison d'éléments solubles ou pseuso-solubles n'est actuellement plus suffisante :

- dans la zone sahélienne où les bilans hydriques "théoriques" indiquent un drainage nul,

- dans le domaine nord-soudanien où ce drainage annuel représente moins de 50 mm.

- de nombreux auteurs supposent, par contre, que les quelque 150 à 200 mm/an permettraient une reprise ou une poursuite d'une dynamique actuelle profonde des sols dans le domaine sud-soudanien.

L'argumentation repose, en plus, sur les faits "réels" suivants :

- les deux premières zones sont caractérisées par un régime hydrologique de type sub-aride. Il n'y a pas d'écoulement de base, les coefficients d'écoulement de crue oscillent entre 25 et 70% sur les bassins de quelques dizaines de kilomètres carrés (coïncidant avec la superficie des mailles interfluves), où il n'y a donc pas de résurgence de nappes,

- la majorité de l'eau ruisselle superficiellement pour les raisons développées précédemment, elle est aussi reprise par une évapotranspiration (versant) ou une évaporation (plans d'eau libre) importantes,

- des infiltrations plus profondes restent cependant possibles mais elles dépendent d'hétérogénéités de la couverture pédologique (affleurements de roches ou d'altérites) dont on ne connaît pas ou dont on connaît peu le rôle sur une alimentation hydrique profonde.

Il est en même temps admis que les différenciations pédologiques actuellement constatées n'ont pu se développer que lors des épisodes "plus humides" du Quaternaire (nigéro-tchadien p. ex.). Ces différenciations partent souvent de la transformation de plus anciennes altérations kaoliniques (Tertiaire) avec ségrégation matricielle en amont évoluant en filtre pour les eaux de percolation et concentrations plasmiques en aval par migration latérale et (ou) néoformation dans un milieu confiné. Le problème qui se pose alors est double : il faut, d'une part, imaginer une stabilité climatique suffisante pour permettre l'auto-développement du processus, et il faut, d'autre part, reconstituer les conditions pluviométriques ad hoc en fonction de ce que l'on sait sur la dynamique actuelle des sols.

Ce regard sur le passé reste une opération à risques si l'on ne considère pas simultanément la durée requise pour le développement d'un processus et la vitesse d'instauration d'un nouveau régime climatique.

Si le changement vers le pôle humide est progressif, toutes les composantes du milieu naturel évoluent harmonieusement : le réseau de drainage se densifie, isolant des mailles au fonctionnement autonome, un couvert végétal continu et pérenne s'installe et se reproduit sur des altérations de plus en plus profondes. Les réactions hydrodynamiques et érosives de ce système complexe restent adaptées aux contraintes pluviométriques insidieuses et tolèrent même les événements paroxysmaux.

Dans le cas d'une modification plus rapide du régime climatique, il se produit par contre un déphasage entre contrainte et réaction : les sols dont la différenciation répondait aux conditions de l'altérogénèse précédente ne s'adaptent aux nouvelles conditions que modestement, superficiellement, et ce, dans les limites d'événements climatiques insidieux en ne développant qu'un très petit nombre d'organisations communes d'ailleurs à des sols morphogénétiquement très différents. Ces "adaptations superficielles" ne résisteront pas, ou résisteront peu, aux événements pluviométriques paroxysmaux, et encore moins à une surexploitation : dans ce cas, simplification du système devient synonyme de fragilisation.



## BIBLIOGRAPHIE

- ADJANOHOOUN E. (1964) - Végétations des savanes et rochers découverts en Côte d'Ivoire Centrale. Mém. ORSTOM, 7, 178 p., Paris.
- ALBERGEL J. (1987 a) - Sécheresse, désertification et ressources en eau de surface. Application aux petits bassins du Burkina Faso. ORSTOM Montpellier.
- ALBERGEL J. (1987 b) - Genèse et prédétermination des crues au Burkina Faso. Du mètre au kilomètre étude des paramètres hydrologiques et de leur évolution. Thèse doct. Univ. Paris VI, 336 p., multigr.
- ALBERGEL J., BERNARD A., (1984 a) - Calage du modèle simulateur. Préviation de la crue décennale sur le bassin versant de Binnde. ORSTOM, Ouagadougou, 65 p., multigr.
- ALBERGEL J., BERNARD A. (1984 b) - Etude des paramètres hydrodynamiques des sols sous pluies simulées. Estimation du ruissellement sur le bassin versant de Kazanga. ORSTOM Ouagadougou, 104 p., multigr. + annexes.
- ALBERGEL J., CARBONNEL J.P., GROUZIS M. (1984) - Pluies, eaux de surface, productions végétales en Haute-Volta (1920 - 1983). ORSTOM, Centre de Ouagadougou, 59 p., multigr.
- ASSOCIATION FRANCAISE POUR L'ETUDE DU SOL (1987) - AFES Référentiel Pédologique Français. 1ère Proposition. AFES/INRA. Plaisir, 131 p. multigr.
- ARNOULD Y. (1961), - Etude géologique des migmatites et des granites précambrien du nord-est de la Côte d'Ivoire et de la Haute-Volta méridionale. Mém. BRGM, 3, 175 p.
- ARRIVETS J., ROOSE E., CARLIER P. (1973) - Etude du ruissellement, du drainage et de l'érosion sur des sols ferrugineux de la région Centre Haute-Volta (station de Saria). - Dispositif d'étude et premiers résultats (1971). - Annexes. Rapport IRAT/H.V. - ORSTOM/C.I., : 85 + 88 p.

- ATLAS DE COTE D'IVOIRE (1972) - Ministère du Plan de Côte d'Ivoire, Institut de Géographie Tropicale de l'Université d'Abidjan, ORSTOM.
- ATTERBERG A. (1912) - Über die physikalische Bodenuntersuchung. Int. Mitt. für Bodenkunde, 1, 7 - 9.
- AUBERT G. (1965) - Classification des sols. Tableaux des classes, sous-classes, groupes et sous-groupes de sols utilisés par la section de Pédologie de l'ORSTOM, Cah. ORSTOM, Sér., Péd., 3 (3) : 269 - 288
- AUBREVILLE A. (1949) - Climats, forêts et désertification de l'Afrique Tropicale. Soc. Ed. Géogr. maritimes et coloniales, Paris, 351 p.
- AVENARD J.M., BONVALLOT J., LATHAM M., RENARD-DUGERDIL M., RICHARD J.F. (1972) - Quelques aspects du contact forêt-savane dans le centre et l'ouest de la Côte d'Ivoire. ORSTOM, Trav. et Doc. n° 35, 254 p.
- BAILLY C., BENOIT DE COIGNAC G., MALVOS C., NINGRE J.M., SARRAILH J.M. (1974) Etude de l'influence du couvert naturel et de ses modifications à Madagascar. Expérimentations en bassins versant élémentaires. In : "Cahiers Scientifiques du CTFT", Oct. 1974, n° 4, 114 p..
- BARRERE J., SLANSKY M. (1961) - Notice explicative de la carte géologique de l'Afrique occidentale à 1/2.000.000. BRGM Bull. n° 29, 35 p.
- BARRY J.P., BOUDET G., BOURGEOT A., CELLES J.C., COULIBALY A.M., LEPRUN J.C., MANIERE R. (1983) - Etude des potentialités pastorales et de leur évolution en milieu sahélien au Mali. Groupe de Recherches Interdisciplinaires en Zones Arides (ACC. GRIZA. LAT), 114 p.
- BEAUDOU A.G., CHATELIN Y. (1974) - Les mouvements d'argile dans certains sols ferrallitiques centrafricains. ORSTOM - Centre de Bangui, pour 10ème Congrès International des Sols de Moscou - vol. 7, 247-255.
- BEAUDOU A.G., CHATELIN Y., COLLINET J., SALA G.H. (1977) - Notes sur la micromorphologie de certains sols ferrallitiques jaunes des régions équatoriales d'Afrique. ORSTOM, Paris, Cah. Péd., XV, 4, 361 - 379.
- BEAUDOU A.G., SAYOL R. (1979) - Etude pédologique de la région de Boundiali - Korhogo (Côte d'Ivoire) - Cartographie et typologie sommaire des sols - Feuille de Boundiali à 1/200.000. Feuille de Korhogo à 1/200.000. ORSTOM, Notice explicative n° 84, 47 p.
- BEAUDOU A.G., COLLINET J. (1980) - Etude morphologique de la surface du sol dans le sud-est du Niger (doc. travail) ORSTOM, Bondy - 40 p., multigr.
- BEAUDOU A.G., SAYOL R. (1980) - Etude pédologique de la région de Boundiali - Korhogo - Méthodologie et typologie détaillée. ORSTOM. Coll. Trav. et Doc n° 112, 281 p.



- BIROT Y., GALABERT I (1972) - Bioclimatologie et dynamique de l'eau dans une plantation d'eucalyptus. Cah. Scientifique du CFTC n° 1. Bois et Forêts des Tropiques, 51 p.
- BLIC (de) P. (1977) - Micromorphologie de la partie supérieure des sols en zone de culture semi-mécanisée dans le centre ivoirien. Univ. Dijon, Institut des Sci. de la Terre, 58 p., multigr., 12 réf., + annexes.
- BOA D. (1983) - Caractéristiques hydriques des gravillons ferrugineux dans les sols ferrallitiques. ORSTOM Centre d'Adiopodoumé, 50 p., multigr.
- BOCQUIER G., GAVAUD M (1964) - Etude pédologique du Niger Oriental. ORSTOM, Dakar, 80 + 267 p., multigr., 39 tabl., 51 fig. Carte en couleurs h.t. à 1/500.000
- BOCQUIER G. (1971) - Genèse et évolution de deux toposéquences de sols tropicaux du Tchad. Interprétation biogéodynamique. Thèse ès-Sc. Nat. - Univ. Louis Pasteur, Strasbourg, 364 p., 47 tabl., 15 photos, 520 réf.
- BOCQUIER G., GAVAUD M., BOULET R. (1984) - Etude pédologique du Niger Central. Rapport général ORSTOM, Dakar, 211 p., multigr., + annexes, 21 pl., 17 tabl.
- BOIFFIN J. (1984) - La dégradation structurale des couches superficielles du sol sous l'action des pluies. Thèse Paris, 320 p. + annexes.
- BOISSEZON (de) P. (1973) - Les matières organiques des sols ferrallitiques - in "Les sols ferrallitiques" tome IV, la matière organique et la vie dans les sols ferrallitiques. ORSTOM, Paris, collect., Initiation et documentations techniques n° 21, 9 - 66 .
- BONVALLOT J., BOULANGE B. (1970) - Note sur le relief et son évolution dans la région de Bongouanou (Côte d'Ivoire). Cah. ORSTOM. Sér. Géol., II, 2, 171 - 183.
- BOULANGE B. (1970) - Le massif bauxitique de l'Orumbo Bocca et sa cuirasse bauxitique. Cah. ORSTOM, sér. Géol. II, 2, 185-203.
- BOULANGE B. (1973) - Carte des niveaux cuirassés de la région des monts Kokumbo et Alebouma (Côte d'Ivoire). ORSTOM Centre d'Adiopodoumé, 10 p., multigr., 1 carte h.t.
- BOULANGE B., DELVIGNE J., ESCHENBRENNER V. (1973) - Description morphoscopiques, géochimiques et minéralogiques des faciès cuirassés des principaux niveaux géomorphologiques de Côte d'Ivoire. Cah. ORSTOM, Ser. Géol., vol. V, 1, 59 - 81.
- BOULET R. (1964) - Etude pédologique du Niger Central, rapport général. ORSTOM, Centre de Dakar Hann, 211 p. multigr., 21 pl., 17 tabl., 3 cartes à 1/500.000.

- BOULET R. (1968) - Etude pédologique de la Haute-Volta. Région Centre-nord. ORSTOM Dakar, multigr., 351 p., 43 tabl., 34 fig., 1 carte h.t. à 1/500.000 + annexes.
- BOULET R., LEPRUN J.C. (1969) - Etude pédologique de la Haute Volta. Région Est. Rapp. ORSTOM, Dakar, 331 p., multigr.
- BOULET R. (1974) - Toposéquences de sols tropicaux en Haute-Volta. Equilibre et déséquilibre pédobioclimatique. Thèse d'Etat. Univ. de Strasbourg. ORSTOM, Coll. Mémoires n° 85, 272 p., 20 tabl., 73 fig., 17 pl., 244 rAf.
- BOULET R. (1978) - Notice des cartes de ressources en sols de la Haute-Volta. Ministère de la Coopération/ORSTOM, Paris, 97 p., 36 réf.
- BOYER J. (1978) - Le calcium et le magnésium dans les sols des régions tropicales humides et sub-humides. ORSTOM Paris. Collect. Initiation et documentations techniques n° 35, 173 p.
- BOYER J. (1982) - Les sols ferrallitiques, tome X. Facteurs de fertilité et utilisation des sols, ORSTOM Paris, collect. Initiations et documentations techniques n° 54, 384 p.
- BREWER R. (1964) - Fabric and mineral analysis of soils. J. Wileys and Sons (edit.) New York, London, Sydney, 470 p.
- BRUNET-MORET Y. (1963) - Etude générale des averses exceptionnelles en Afrique occidentale : République de Haute-Volta. ORSTOM/CIEH, Paris, 23 p., multigr.
- BRUNET-MORET Y. (1963) - Etude générale des averses exceptionnelles en Afrique occidentale : République du Niger. ORSTOM/CIEH, Paris, multigr.
- BRUNET-MORET Y. (1966) - Complément à l'étude générale des averses exceptionnelles en Afrique occidentale : République du Tchad. ORSTOM/CIEH, Paris, multigr.
- CAMUS R., CHAPERON P., GIRARD G., MOLINER M. (1976) - Analyse et modélisation de l'écoulement superficiel. Influence de la mise en culture. Trav. et Doc. ORSTOM, Paris, N° 52, 81 p.
- CASENAVE A., GUIGUEN N. (1978) - Etude des crues décennales des petits bassins forestiers en Afrique Tropicale. Détermination des caractéristiques hydrodynamiques des sols forestiers. Campagne 1977 - ORSTOM, CIEH, Abidjan, 62 p., multigr., 32 fig., 29 réf.
- CASENAVE A. (1981) - Etude des crues décennales des petits bassins versants forestiers en Afrique Tropicale. Rapport final ORSTOM CIEH., Abidjan, multigr., 65 p., 15 tabl., 6 fig., 19 réf.
- CASENAVE A. (1982) - Le minisimulateur de pluie. Conditions d'utilisation et principes de l'interprétation des mesures. Cah. ORSTOM, sér. Hydrol., XIX, 4, 207 - 227.

- CASENAVE A. GUIGUEN N., SIMON J.P. (1982) - Etude des crues décennales des petits bassins versants forestiers en Afrique Tropicale. Cah. ORSTOM, sér. Hydrol., XIX, 4, 229 - 252.
- CASENAVE A. (1985) - Programme d'analyse du ruissellement, de l'infiltration et de l'érosion à l'aide des techniques de simulation de pluie. ORSTOM Paris, Colloques et Séminaires, Journées hydrologiques de Montpellier (septembre 1985), 10 - 18.
- CASENAVE A., VALENTIN C. (1988) - Les états de surface de la zone sahélienne, influence sur l'infiltration. ORSTOM - CEE, 202 p. + annexes.
- CHARREAU C., TOURTE R. (1967) - Le rôle des facteurs biologiques dans l'amélioration du profil cultural dans les systèmes d'agriculture traditionnelle de zone tropicale sèche. in : Actes du Colloque sur la fertilité des sols tropicaux. Tananarive, 19 - 25 novembre 1967. CFS/TAN//II : 1 - 20, 10 tabl., 44 réf.
- CHARREAU C. (1969) - Influence des techniques culturales sur le développement du ruissellement et de l'érosion en Casamance. Agron. Trop., 24 (9) : 836 - 842.
- CHARREAU C., SEGUY L. (1969) - Mesure de l'érosion et du ruissellement à Séfa en 1968. Agron. Trop., 24, 11, 1055 - 1097.
- CHARREAU C., NICOU R. (1971) - L'amélioration du profil cultural dans les sols sableux et sablo-argileux de la zone tropicale sèche Ouest-Africaine et ses incidences agronomiques. Agron. Trop. 26 (9) : 903 - 978 (11) : 1183 - 1247.
- CHAUVEL A. (1977) Recherches sur la transformation des sols ferrallitiques dans la zone tropicale à saisons contrastées. Evolution et réorganisation des sols rouges de moyenne Casamance (Sénégal). Thèse d'Etat. Univ. de Strasbourg. ORSTOM, Paris. Coll. Trav. et Doc., n° 62, 532 p.
- CHEVALLIER P., (1982) - Simulation de pluie sur deux bassins versants sahéliens (Mare d'Oursi, Haute-Volta). Cah. ORSTOM, sér. Hydrol., XIX, 4, 253 - 297.
- CHEVALLIER P. (1983) - L'indice des précipitations antérieures. Evaluation de l'humectation des sols des bassins versants représentatifs. ORSTOM Paris, Cah. Hydrol., Vol. XX, n° 3 - 4, 179 - 189.
- CHEVALLIER P. (1986) - Simulation de pluie, télédétection, modélisation. Exemple de la Mare d'Oursi - Burkina Faso. Journées Hydrologiques de l'ORSTOM à Montpellier. Coll. ORSTOM Colloques et Séminaires 90 - 104 p.
- CHEVALLIER P., CLAUDE J., POUYAUD B., BERNARD A. (1985). Pluies et crues au Sahel. Hydrologie de la mare d'Oursi (Burkina Faso). 1976 - 1981. ORSTOM, Paris, Collection Travaux et Documents n° 190 - 251 p., 5 planches photos, 58 réf., 2 cartes h.t. à 1/50.000.

- CHEVALLIER P., VALENTIN C. (1984) - Influence des micro-organisations pelliculaires superficielles sur l'infiltrabilité d'un type de sol sahélien. Bulletin du GFHN, 17 : 9 - 22, 5 tabl., 4 fig., 12 réf.
- CHEVERRY C., FROMAGET M., BOCQUIER G. (1972) - Quelques aspects micromorphologiques de la pédogénèse de polders conquis sur le lac Tchad. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., Vol. X : 373 - 3.
- CHUKWUMA G.O., SCHWAB G.O., EDWARDS W.M. (1979) - Rainfall - Runoff factor for sediment yield from small watersheds. Journal article of the Ohio Agricultural Research and Development Center, Wooster n° 125 - 79. 11 p., 2 fig., 4 tabl.
- CISSOKO A.S. (1979) - Etude du climat de la Côte d'Ivoire - in "Annales du Service météorologique", 6ème Journées Nationales de Climatologie de Bouaké. ASECNA 12 - 16.
- CLAUDE G., BOULANGE B. (1973) - Esquisse topographique du socle granitique des bassins versants de Sakassou. Centre ORSTOM d'Adiopodoumé, 18 p., multigr., 3 cartes, 23 pl. h.t.
- COLLINET J. (1974) - Compte-rendu d'une tournée dans le nord de la Côte d'Ivoire. Etude de quelques relations pédogénèse - morphogénèse dans la région de Boundali - ORSTOM, Centre d'Adiopodoumé, 57 p. multigr.
- COLLINET J., LAFFORGUE A. (1975) - Compte-rendu d'une mission de simulation de pluie en Haute-Volta. ORSTOM, Centre d'Adiopodoumé, Centre de Ouagadougou, 27 p., multigr., planches photograph.
- COLLINET J. (1976) - Carte pédologique de reconnaissance - Feuilles de Booué, Mirzic à 1/200.000 (Gabon) - ORSTOM, Paris, notice explicative n° 63, 160 p.
- COLLINET J., LAFFORGUE A. (1979) - Mesures de ruissellement et de l'érosion sous pluies simulées pour quelques types de sols de Haute-Volta. ORSTOM Abidjan, 129 p. multigr. 123 fig. hors texte.
- COLLINET J., VALENTIN C. (1979 a) - Analyse des différents facteurs intervenant sur l'hydrodynamique superficielle. Nouvelles perspectives. Applications agronomiques. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., XVII, 4, 283 - 328.
- COLLINET J., VALENTIN C. (1979 b) - Un schéma des interrelations hydrodynamiques dans les milieux naturels et cultivés, valorisation des données morphologiques in "Informatique et Biosphère", Actes du Colloque d'Abidjan, 155 - 177, 5 tabl., 10 fig., 22 réf.
- COLLINET J., VALENTIN C., ASSELINE J., CHEVALLIER P., SICOT M. (1980) - Ruissellement, infiltration et érosion en zones sahéliennes et subdésertiques. Rapport de terrain sur la première mission "Mare d'Oursi". ORSTOM Abidjan, 14 p., multigr., 15 fig., 15 tabl.
- COLLINET J., VALENTIN C., ASSELINE J., HOEPFFNER M., HARANG P., PEPIN Y. (1980) - Etude LAT 03 : Ruissellement, infiltration et érosion en zones sahéliennes et subdésertiques - Rapport de terrain sur la seconde

- opération Niger (Bassin versant de Galmi, Cuvette d'Agadez). ORSTOM - DGRST - Centre d'Adiopodoumé, Mission de Niamey, 36 p., multigr.
- COLLINET J. (1984) - Hydrodynamique superficielle et érosion comparée de quelques sols ferrallitiques sur défriches forestières traditionnelles (Côte d'Ivoire) in "Challenges in African Hydrology and Water Ressources", IAHS Publ. n° 144, 499 - 516.
- COLLINET J., COUTURIER G., GUILLAUMET J.L., KAHN F., MOREAU R., SANGARE YAYA (1984) - Le système cultural et ses contraintes, in "Recherche et aménagement en milieu forestier tropical humide : le projet Taï de Côte d'Ivoire", PNUE - ORSTOM - IET sous égide UNESCO (MAB) note technique du MAB n° 15, 113 - 183.
- COLLINET J., VALENTIN C. (1985) - Evaluation of factors influencing water erosion in West Africa using rainfall simulation. in "Challenges in African Hydrology and Water Ressources" (1984) IAHS Publ., n° 144, 451 - 461, 6 tabl., fig., 17 réf.
- COLLINET J. (1986) - Hydrodynamique superficielle de quelques types de sols du Sahel africain, comparaison des données fournies par deux dimensions de parcelles de simulation de pluie. Journées hydrologiques de l'ORSTOM à Montpellier. Coll. ORSTOM, Colloques et Séminaires, 117 - 153
- COMBEAU A., QUANTIN P. (1962) - Observations sur la capacité au champ de quelques sols ferrallitiques. Rapprochement avec les courbes pF - humidité. Science du sol, Versailles, 1, 1 - 7.
- COMBEAU A. (1964) - Remarques sur les facteurs de variation des limites d'Atterberg. ORSTOM Paris, Cah. Pedo. II, 4, 29 - 40.
- COMBEAU A., QUANTIN P. (1964) - Observations sur les relations entre stabilité structurale et matière organique dans quelques sols d'Afrique Centrale. ORSTOM, Paris, Cah. Pédol. II, 1, 1964, 3 - 13.
- COMMISSION DE PEDOLOGIE ET DE CLASSIFICATION DES SOLS (1967) CPCS. Classification des sols. ENSA (Grignon) - Lab. Pédologie - Géologie, 87 p., multigr.
- COUTURE D. (1968) - Carte géologique de reconnaissance à l'échelle 1/500.000, feuille Odienné. Dir. Minér. et Géol. Abidjan (Côte d'Ivoire).
- DALE RAWLISON L., GLEN L. MARTIN (1971) - Rational model describing slope erosion. Journal of imigration and drainage division, proceedings of the ASCE, 40 - 51.
- DELFOUR J. JEAMBRUN M. (1970) - Notice explicative de la carte géologique à 1/200.000 (Oudalan), république de Haute-Volta, édit. BRGM, 45 p.
- DE ROUW A. (1980) - La culture traditionnelle dans le Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire (Région de Taï) : le système Oubi confronté aux pratiques agricoles des Baoulés immigrés. ORSTOM - Centre néerlandais d'Adiopodoumé, 41 p., multigr.

- DRESCH J. (1966) - Les paysages tropicaux humides. Géographie générale. Encycl. "La Pléiade", Paris, 609 - 711.
- D'SOUZA V.P.C., MORGAN R.P.C. (1976) - A laboratory study of the effect of slope steepness and curvature on soil erosion. J. Agric. Engineer. Research, 21, 21 - 31.
- DUBREUIL P. (1985) - Review of Field observations of runoff generation in the tropics. Journal of Hydrology, 80 : 237 - 264.
- DUBREUIL P. (1967) - Point de vue théorique sur le rôle du sol dans le cycle hydrologique. Cah. ORSTOM, sér. Hydrol., 4 (1) : 3 - 26, 41 réf.
- DUBREUIL P., MORELL M., SECHET P. (1975) - Comportements et interactions des paramètres physiques des petits bassins versants semi-arides et intertropicaux. Cah. ORSTOM, sér. Hydrol. 1 (1) : 13 - 36, 8 fig., 6 tabl., 5 réf.
- DUCELLIER J. (1963) - Contribution à l'étude des formations cristallines et métamorphiques du centre et du nord de la Haute Volta. Mém. BRGM, 10, 320 p.
- DUMAS J. (1965) - Relation entre l'érodibilité des sols et leurs caractéristiques analytiques. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., 3 (4) : 307 - 333.
- ECEREX (1983) - Le projet ECEREX (Guyane) - Analyse de l'écosystème forestier tropical humide et des modifications apportées par l'homme. GERDAT - INRA - ORSTOM - Museum National d'Histoire Naturelle, pour "Journées de Cayenne de mars 1983". 417 p.
- ELDIN M. (1971) - Le climat. in "Le milieu naturel de la Côte d'Ivoire". Mém. ORSTOM. n° 50, Paris, 77 - 108.
- ELWELL H.A., STOCKING M.A. (1976) - Végétal cover to estimate soil erosion hazard in Rhodesia - Geoderma, 15, 61 - 70.
- ELWELL H.A., STOCKING M.A. (1976) - Erosivity determination for seven rainfall stations in Rhodesia. Research Bull. n° 21, Dep. of Geography, Univ. of Rhodesia.
- ELWELL H.A., STOCKING M.A. (1982) - Developing a simple yet practical method of soil loss estimation. Trop. Agric. (Trinidad), 59, 43 - 48.
- EMMETT W.W. (1970) - The hydraulics of overland flow on hillslopes. US. Geol. Surv. Prof. Paper. 662.A.
- ESCADAFAL R. (1981) - Apport de la télédétection spatiale à la cartographie des ressources en sols de la région de Medine (Sud Tunisien). Division des Sols, Tunis, E-S n° 189, 40 p. multigr., 2 tabl., 7 fig., 19 réf.

- ESCADAFAL R. (1981) - Une méthode nouvelle de description de la surface du sol dans les régions arides. Sols, n° 5 : 21 - 27.
- ESCHENBRENNER V. (1969) - Etude géomorphologique et pédologique de la région de Tanda (Côte d'Ivoire). ORSTOM, Adiopodoumé, 83 p. multigr.
- ESCHENBRENNER V., GRANDIN G. (1970) - La séquence de cuirasses et ses différenciations entre Agnibilékrou (Côte d'Ivoire) et Diébougou (Haute-Volta). Cah. ORSTOM, Ser. Géol., II, 2, 205 - 245.
- ESCHENBRENNER V., BOULANGE B. (1973) - Note sur la présence de cuirasse témoin des niveaux bauxitiques et intermédiaires. ASEQUA Bull. de liaison, 31, 83 - 92.
- ESCHENBRENNER V., BADARELLO L. (1978) - Etude pédologique de la région d'Odienné (Côte d'Ivoire) - Carte des paysages morpho-pédologiques. Feuille d'Odienné à 1/200.000. Notice explicative ORSTOM n° 74, 123
- FAURE H. (1962) - Reconnaissance géologique des formations sédimentaires postpaléozoïques du Niger Oriental. Thèse, Paris et Mém. BRGM. n° 29 (1966), 630 p.
- FEODOROFF A. (1965) - Etude expérimentale de l'infiltration de l'eau non saturante. Cas d'un sol initialement sec et d'un arrosage sans formation de plan d'eau en surface. Ann. Agron., 16 (2) : 127 - 175, 15 (3) : 231 - 263, 38 réf.
- FILLERON J.C., MONNIER Y. (1972) - Orographie de la Côte d'Ivoire. in "Atlas de Côte d'Ivoire", 16 p.
- FILLERON J.C., RICHARD J.F. (1974) - Recherche sur les paysages subsoudanais. Les géosystèmes de la région d'Odienné (Nord-ouest de la Côte d'Ivoire). Ann. Univ. Abidjan, série G (géographie), T IV., 103 - 168.
- FOSTER G.R., MEYER L.D. (1972) - A closed form soil erosion equation for upland areas. Sedimentation, (Einstein), H.W. Shen Editor and Publisher, Ft. Collins, Colorado. - Chap. 12, 1 - 19.
- FURON R. (1960) - Géologie de l'Afrique - Payot (2ème édit.) Paris, 400 p.
- GAVAUD M. (1975) - Sols et pédogénèse au Niger méridional. ORSTOM, Paris, multigr., 107 p. + annexes.
- GAVAUD M. (1977) - Les grands traits de la pédogénèse au Niger méridional. ORSTOM, Paris, Collection Travaux et Documents n° 76, 102 p., 4 fig, 37 réf.
- GIODA A. (1983) - Etude du rapport pluie-débit sur petit bassin de savane à l'aide d'un infiltromètre à aspersion (Korhogo - Côte d'Ivoire) ORSTOM, Abidjan, 64 p., multigr.
- GIRARD G., CHAPERON P. (1971) - Traitements automatiques de l'information pluviographique. Cah. ORSTOM, Sér. Hydrol. XII, n° 3.

- GIRARD G., SIRCOULON J., TOUCHEBEUF P. (1971) - Aperçu sur les régimes hydrologiques. in "Le Milieu naturel de la Côte d'Ivoire", Mém. ORSTOM Paris n° 50, 109 - 155.
- GODEFROY J., ROOSE E.J., MULLER M. (1975) - Estimation des pertes par les eaux, de ruissellement et de drainage des éléments fertilisants dans un sol de bananeraie du sud de la Côte d'Ivoire. Fruits, 30, 4 : 223 - 235.
- GRAS R. (1972) - Effets des éléments grossiers sur la dynamique de l'eau dans les sols sableux : comportement des éléments grossiers poreux vis-à-vis de l'eau. Ann. Agro. 23, 3, 197 - 239.
- GRAS R. (1974) - L'emprisonnement de l'air lors de l'humectation des corps poreux. Bull. AFES 1.
- GRANDIN G., DELVIGNE J. (1969) - Traits généraux de l'évolution du réseau hydrographique de la région du confluent Bandama - N'Zi. Bull liaison ASEQUA, 23 - 24, 7 - 14.
- GRANDIN G. (1976) - Aplanissements cuirassés et enrichissements des gisements de manganèse dans quelques régions de l'Afrique de l'Ouest. Thèse Fac. Sc. Strasbourg 1973. Mém. ORSTOM, 82, Paris, 275 p., 34 cartes, 32 fig. 12 pl.
- GREIGERT J., POUGNET R. (1967) - Essais de description des formations géologiques de la République du Niger. Mém. BRGM n° 48, 199 p., bibl., 605 réf.
- GUILLAUMET J.L., ADJANOHOON E. (1971) - La végétation. in "Le milieu naturel de la Côte d'Ivoire". Mém. ORSTOM n° 50, Paris, 156 - 260.
- HENIN S., AUBERT G. (1945) - Relation entre le drainage, la température et l'évolution des sols. C.R. Ac. Sci., 220, 330 - 334.
- HENIN S., MONNIER G. (1956) - Evaluation de la stabilité de la structure du sol. in : C.R. VI Congrès Intern. Sci. du sol. Paris, Vol. B., 49 - 52
- HENIN S., GRAS R., MONNIER G. (1969) - Le profil Cultural. L'état physique du sol et ses conséquences agronomiques. Masson et cie (édit.), Paris 332 p.
- HENIN S., GRAS R., MONNIER G. (1969) - Le profil cultural. Masson, Paris, 2ème édition, 332 p.
- HIERNAUX P. (1973) - Légende de la carte des formations végétales d'un secteur méridional du Pays Baoulé (Côte d'Ivoire) 1/50.000, CEPE Montpellier, 15 p., multigr., 2 cartes.
- HILLEL D. (1960) - Crust formation in loessical soils. In : Proc. of the VII Intern. Congr. of soil Sci. Madison, 330 - 336, 6 fig., 4 réf.,



- HILLEL D. (1974) - L'eau et le sol. Principes et processus physiques. Traduit en français par BACKER (de) L.W. - Vander (édit.), Leuven, Paris, Bruxelles, 288 p.
- HJUSTRØM F. (1935) - Studies of the morphological activity of rivers as illustrated by the river Fyries. Bull. Geo. Inst. Univ. Uppsala, 25 : 293 - 305 et 442 - 452, 8 tabl., 18 fig., 20 réf.
- HOEPFFNER M., LE GOULVEN P., GARRETA Ph., GATHELIER R. (1976, 1977, 1978) - Les Bassins versants de Galmi, Ibohamane Tégueléguel : études hydrologiques, compte-rendu des campagnes 1975, 1976, 1977. ORSTOM. Mission de Niamey. 40 p. multigraph. + annexes.
- HORTON R.E. (1940) - An approach toward a physical interpretation of infiltration capacity. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 5 : 399 - 417.
- HUDSON N.W. (1957) - Erosion control research. Progress report on experiments at Henderson Research Station 1953 - 1956. Rhad. Agric. J., 54 (4) : 297 - 323.
- HUDSON N.W. (1963) - A review of methods of measuring rainfalls characteristics related to soil erosion. Research bulletin n° 1, Department of Conservation and Extension. Salisbury. 16 p., multigr.
- HUDSON N.W. (1964) - The flour pellet method for measuring the size of raindrops. Research bulletin n° 4, Department of Conservation and Extension. Salisbury., 27 p. multigr.
- HUDSON N.W. (1973) - Soil Conservation. Batsford (edit.), London, 320 p.
- IRIS J.M. (1984) - Modalités de l'infiltration dans un sol à porosité contrastée. ORSTOM, Centre d'Adiopodoumé (Côte d'Ivoire), 10 p., multigr.
- IRIS J.M., FRITSCH E., JANEAU J.L. (1984) - Modalité de l'infiltration dans un sol structuré. ORSTOM, Centre d'Adiopodoumé (Côte d'Ivoire), 7 p., multigr.
- JEAMBRUN M., MACHENS E. (1962) - Prospection générale du Liptako (République du Niger), BRGM, rapp. N° 63 A, Dakar, multigr.
- JOLY F., DEWOLF Y., RIOU G. (1980) - Le bassin de la mare d'Oursi (Haute-Volta). Etude géomorphologique et géodynamique. Contraintes naturelles. Univ. Paris VII. Laboratoire de Géographie Physique, Travaux, n° 7, 65 p., 28 photos, 4 cartes h.t.
- KALMS J.M., MONTENY B., HUMBERT J. (1979) - Climat radiatif en région centre de la Côte d'Ivoire - in "Annales du Service Météorologiques", 6ème journées nationales de climatologie de Bouaké, ASECNA Abidjan, 25 - 29.
- KALOGA B. (1968) - Etude pédologique de la Haute-Volta, région centre-sud, ORSTOM, Centre de Dakar Hann, 247 p., multigr.

- KOHLER M.A., LINSLEY R.K. (1951) - Predicting the runoff from storm rainfall. Weather Bureau, US. Dep. of Commerce, Research Paper n° 34, Washington, 9 p., 7 fig.
- LAFFORGUE A., NAAH E. (1976) - Exemple d'analyse expérimentale des facteurs de ruissellement sous pluies simulées. Cah. ORSTOM, sér. Hydrol., XIII, 3, 195 - 237.
- LAFFORGUE A., NAAH E., ROOSE E. (1976) - Mesure des phénomènes d'érosion sous pluies simulées aux cases d'érosion d'Adiopodoumé. 1) Analyse des facteurs du ruissellement. ORSTOM, Centre d'Adiopodoumé. 32 p. multigr.
- LAFFORGUE A. (1977) - Inventaire et examen des processus élémentaires de ruissellement et d'infiltration sur parcelles. Cah. ORSTOM, sér. Hydrol., XIV, 4, 299 - 344.
- LAFFORGUE A. (1982) - Etude hydrologique des bassins versants de Sakassou - Côte d'Ivoire 1972 - 1977. ORSTOM, collect. Trav. et Doc. n° 149, 341 p.
- LAL R. (1977) - Erosivity in tropical countries. FAO/UNEP consultation on Methodology for assessing soil degradation. Rome, 18 - 20 janvier 1977, 12 p.
- LAL R. (1984) - Effects of slope length on erosion of some alfisols in western Nigeria. Géoderma, 33, 181 - 189.
- LAMOTTE M., ROUGERIE G. (1961) - Les niveaux d'érosion intérieurs dans l'Ouest africain. Recherches africaines, 4, 51 - 70.
- LENOIR F. (1977) - Le régime des nappes dans les formations d'altération, un exemple en Côte d'Ivoire (Sakassou et Toumodi). ORSTOM, Centre d'Adiopodoumé, 47 p., multigr.
- LENOIR F. (1979) - Relations entre la dynamique et la composition chimique d'une nappe d'arène en Côte d'Ivoire. ORSTOM, Centre d'Adiopodoumé, 39 p., multigr.
- LEPRUN J.C., MOREAU R. (1968) - Etude pédologique de la Haute-Volta, région ouest - nord. rapp. ORSTOM, Centre de Dakar Hann, 341 p.
- LEPRUN J.C. (1972) - Cuirasses ferrugineuses autochtones et modelés des bas-reliefs des pays cristallins de Haute-Volta orientale - C.R.Acad. Sci., Paris 275 D, 12 p., 1207 - 1210.
- LEPRUN J.C. (1978) - Compte-rendu de fin d'Etudes sur les sols et leur susceptibilité à l'érosion, les terres de cures salées, les formations de "brousse tigrée" dans le GOURMA. ORSTOM/DGRST, Paris, multigr., 45 p., 8 tabl., 13 fig., 6 photo., 34 réf.
- LEPRUN J.C. (1979) - Etude de l'évolution d'un système d'exploitation sahélienne au Mali. Volet Pédologique. Rapport de Campagne 1979. ORSTOM/DGRST, Paris, Multigr., 27 p., 7 fig., 18 photo., 9 réf.

- LEPRUN J.C. (1979) - Les cuirasses ferrugineuses des pays cristallins de l'Afrique Occidentale sèche. Genèse. Transformations. Dégradations. Thèse d'Etat Univ. de Strasbourg, 222 p., 45 fig., 7 pl. h.t.
- LEPRUN J.C. (1979) - Etude de l'évolution d'un système d'exploitation sahélien au Mali. Volet pédologique. Rapport de campagne 1979. ORSTOM/DGRST, Paris, 27 p. Multigr., 7 fig., 18 photo., 9 réf.
- LEPRUN J.C. (1983) - Relatorio de fim de convenio de manejo e conservação do sols no Nordeste Brasileiro (1982 - 1983). SUDENE/ORSTOM, Recife, 290 p., multigr.
- LEPRUN J.C., SILVEIRA C.O. (da), SOBRAL FILHO (R.M.) (1986) - Efficacité des pratiques culturales antiérosives testées sous différents climats brésiliens. Cah. ORSTOM, sér. pédol., 22 (2) : 223 - 233, 11 tabl., 1 fig., 17 réf.
- LEROUX M. (1970) - La dynamique des précipitations en Afrique Occidentale, Thèse 3ème cycle, Univ. Dakar, 206 p.
- LEVEQUE A. (1980) - Les sols ferrallitiques de Côte d'Ivoire, leur différenciation et les principaux caractères déterminant leur fertilité. ORSTOM, Centre d'Adiopodoumé, 8 p. multigr.
- LEVEQUE A. (1982) - Etudes pédologiques et agronomiques des ressources en sols de la région du nord du 10ème parallèle en Côte d'Ivoire. Feuilles à 1/200.000 de Niellé, Tingrela, Tienko. ORSTOM, Notice Explicative n° 96, 126 p.
- M.A.B. (1984) - Recherche et aménagement en milieu forestier tropical humide : le projet Tai de Côte d'Ivoire. Note technique n° 15. PNUE - ORSTOM - IET sous égide UNESCO, 245 p.
- MARCHAL J.Y. (1979) - L'espace des techniciens et celui des paysans. Histoire d'un périmètre antiérosif en Haute-Volta. in "Maîtrise de l'espace agraire et développement en Afrique tropicale", CNRS/ORSTOM, Mém. ORSTOM n° 89 : 245 - 252, 1 tabl.
- MARCHAL J.Y. (1986) - Vingt ans de lutte anti-érosive au Nord du Burkina Faso. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., 22 (2) : 173 - 180, 21 réf.
- MEYER L.D., Mc CUNE D.L. (1958) - Rainfall simulator for runoff plots. Ag. Eng., 39 (10) : 644 - 648.
- MEYER L.D., JOHNSON C.B., FOSTER G.R. (1972). Stone and woodchip mulches for erosion control on construction sites. J.O. Soil and Water Cons., 27, (6) : 264 - 269.
- MILIEU NATUREL DE LA COTE D'IVOIRE (1971) - Mém. ORSTOM n° 50, 9 cartes h.t.
- MICHEL P. (1969) - Chronologie du Quarternaire des bassins des fleuves Sénégal et Gambie. Essai de synthèse. 8ème Congrès de l'INQUA, Paris. Etudes

sur le Quaternaire dans le monde. 2 vol. suppl. au Bull. de l'Ass. Fr. pour l'étude du Quaternaire, 4, 1971.

- MICHEL P. (1973) - Les bassins des fleuves Sénégal et Gambie : Etude Géomorphologique. ORSTOM, Paris, Mém. n° 63, 752 p.
- MILLEVILLE P. (1982) - Etude d'un système de production agro-pastoral sahélien de Haute-Volta. 1ère partie : Le système de culture. A.C.C. Lutte contre l'aridité dans l'Oudalan. ORSTOM/DGRST, Ouagadougou, multigr., 66 p., 8 fig., 3 tabl. 16 réf.
- MILLEVILLE P., COMBES J., MARCHAL J.Y. (1982) - Systèmes d'élevage sahéliens de l'Oudalan. Etude de cas. ORSTOM, Ouagadougou, 126 p., multigr., 18 fig., 20 réf.
- MONNIER G. (1965) - Action des matières organiques sur la stabilité structurale des sols. Ann. Agron. 16 : 327 - 400 ; 471 - 534.
- MONNIER Y (1981) - La poussière et la cendre. Paysages, dynamique des formations végétales et stratégie des sociétés en Afrique de l'Ouest. Collect. ACCT, 62 fig., 20 phot., 250 p.
- MONTENY B.A., LHOMME J.P. (1980) - Eléments de bioclimatologie - ORSTOM, Centre d'Adiopodoumé, 90 p. multigr.
- MONTENY B. (1983) - Relevés climatiques mensuels du Centre ORSTOM d'Adiopodoumé - années 1979, 1980, 1981, multigr. (doc. de travail.)
- MORGAN R.P.C. (1979) - Soil erosion. Longman (edit.), London, New-York, 113 p.
- MULLER J.P. (1977) - Microstructuration des struchons rouges ferrallitiques, à l'amont des modelés convexes (centre Cameroun) ORSTOM, Paris, Cah. Pédo., XV, 3, 239 - 258.
- PALLIER G. (1978) - Géographie générale de la Haute-Volta. Publ. U.C.R. Lettres et Sciences humaines de l'Univ. de Limoges, CNRS. 241 p., 36 fig., 14 pl.
- PEDRO G., KILIAN J., PIERI C., MOREAU R., DUBREUIL P., LE GOUPIL J.C., ELDIN M. (1987) - Sols et eaux. Acquis et perspectives de la recherche agronomique française en zone intertropicale. ORSTOM/Banque Mondiale, 184 p.
- PELTRE P. (1973) - Carte géomorphologique à 1/20.000 du grand bassin versant de Sakassou. Centre ORSTOM d'Adiopodoumé, 31 p. multigr., 1 carte h.t.
- PELTRE P. (1977) - Le "V" baoulé (Côte d'Ivoire Centrale) - héritage géomorphologique et paléoclimatique dans le tracé du contact forêt - savane. ORSTOM. Collect. Trav. et Doc. n° 80 (1979), 198 p., 1 carte h.t.
- PERRAUD A. (1971) - La matière organique des sols forestiers de la Côte d'Ivoire. Relations sol - végétation - climat. Thèse de Doctorat, Univ. de Nancy I, Mém. ORSTOM, Paris, 82 p.

- PIAS J. (1958) - Transgression et régression du lac Tchad à la fin de l'ère tertiaire en quaternaire. C.R. Acad. Sci., Paris, 246, 800 - 803.
- PION J.C. (1979) - L'altération des massifs cristallins basiques en zone tropicale sèche. Etude de quelques toposéquences en Haute-Volta. Thèse d'Etat, Strasbourg, 1973, 220 p., 55 fig., 4 pl.
- PIRARD F. (1964) - Reconnaissance hydrogéologique du Niger Oriental. BRGM, 109 p.
- PLANCHON O., FRITSCH E., VALENTIN C. (1987) - Rill development in a wet savannah environment. Catena Supl., 8 : 55 - 70.
- PLOEY (de) J. (1971) - Liquefaction and rainwash erosion. Z. Geomorph. n.f., 15, 4, 491 - 496.
- PLOEY (de) J., MOYERSONS J. (1975) - Runoff creep of coarse debris : experimental data and some field observations. Catena, 2 : 272 - 288, 3 fig., 7 photo., 16 réf.
- PLOEY (de) J., SAVAT J., MOEYERSONS J. (1975) - The differential impact of some soil loss factors on flow, runoff creep and rainwash. Earth surface processes, vol I., 151 - 161.
- PLOEY (de) J., MOEYERSONS J. (1976) - Quantitative data on splash erosion, simulated on unvegetated slopes. Z. Geomorph. N.F., suppl. bull. 25, 120 - 131.
- PLOEY (de) J. (1978) - A consistency index for the prediction of surface crusting on belgian loamy soils. In "Actes du Colloque sur l'érosion agricole des sols en milieu tempéré non méditerranéen". VOGT H. et VOGT T. (édit)., 135 - 137, 4 fig.
- PLOEY (de) J. (1980) - Crusting and time dependant rainwash mechanisms on loamy soil. in "Soil Conservation : Problems and prospects. New-York, Brisbane, Toronto, 140 - 152, 6 fig., 25 réf.
- PLOEY (de) J. (1983) - Runoff and rill generation on sandy and loamy top soils. Z. Geomorph. N.F. Suppl. Bd 46, 15 - 23, 2 fig., 24 réf.
- POESEN J., SAVAT J. (1980) - Particle size separation during erosion by splash and runoff. in "Assessment of erosion" ed. DE BOODT M. et GABRIELS D., Wiley, 427 - 439.
- POESEN J., SAVAT J. (1981) - Detachment and transportation of loose sediments by raindrop splash. II : Detachability and transportability measurements. Catena, 8 (1) : 19 - 41, 2 tabl., 11 fig., 4 photo., 50 réf.
- POESEN J. (1985) - An improved splash transport model. in "Z. Geomorph. N.F., Berlin - Stuttgart, 29, 2, 193 - 211.

- PONTANIER R., MOUKOURI-KUOH H., SAYOL R., SEYNI-BOUKAR L. THEBE B. (1986) - Apport de l'infiltromètre à aspersion pour l'évaluation des ressources en sol des zones soudano-sahéliennes du Cameroun. Journées hydrologiques de l'ORSTOM à Montpellier. Col. Colloques et Séminaires, 165 - 189.
- POSS R. (1978) - La dynamique de l'eau saturante dans les sols de la périphérie d'un inselberg, en milieu ferrallitique de transition (Nord Côte d'Ivoire). Typologie des sols et tests hydrodynamiques. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., 16 (2) : 131 - 154, 9 tabl., 12 fig., 27 réf.
- POSS R. (1981) - Etude morpho-pédologique de la région de Katiola (Côte d'Ivoire), carte des paysages et des unités morphopédologiques - 1 feuille à 1/200.000, notice explicative ORSTOM, Paris, n° 94, 142 p.
- POSS R., VALENTIN C. (1983) - Structure et fonctionnement d'un système eau - sol - végétation : une toposéquence ferrallitique de savane (Katiola - Côte d'Ivoire). Cah. ORSTOM, sér. Pédol., XX, 4, 341 - 360.
- POUYAUD B., CHARTIER R. (1971) - Méthode thermodynamique de mesure de l'humidité des sols. Cah. ORSTOM, sér., Hydrol., 8 (1) : 65 - 98.
- POUYAUD B. (1975) - La mesure de l'humidité du sol par chocs thermiques. Cah. ORSTOM, sér. Hydrol., 12 (4) : 259 - 284, 13 fig.
- POUYAUD B., CHEVALLIER P., VALENTIN C. (1980) - Notice d'utilisation de l'humidimètre à chocs thermiques. ORSTOM, Abidjan, Multigr., 16 p., 3 tabl., 6 fig.
- POUYAUD B. (1982) - Contribution à l'évaluation de l'évaporation en climat tropical sec. Exemple du lac de Bam (Haute-Volta). Application au lac Tchad, à la mare d'Oursi et aux Açudes du Nordeste brésilien. ORSTOM, Centre d'Adiopodoumé. 268 p. multigr.
- REYNOLDS S.G. (1975) - Soil property variability on slope studies : suggested sampling schemes and typical required sample sizes. S. f. Geomorph. 19, 191 - 208.
- RICHARD J.F. (1985) - Le paysage, analyse et synthèse. Contribution méthodologique à l'étude des milieux tropicaux (savanes et forêts de Côte d'Ivoire). Thèse Doctorat d'Etat, Univers. Paris VII. 438 p.
- RIEU M. (1972) - Etude pédologique et morphologique du bassin versant de Sakassou. Centre ORSTOM d'Adiopodoumé, 231 p. multigr., 3 Cartes, 4 pl. h.t.
- RIOU G. (1972) - Les sols du pays Baoulé. Thèse de 3ème cycle, 4 vol., Univ. de Strasbourg, 310 p. multigr.
- RÖMKENS M.J.M., ROTH C.B., NELSON D.W. (1977) - Erodibility of selected claysoils in relation to physical and chemical properties. Soil Sci. Soc. Amer. J., 41 (5) : 955 - 960.

- ROOSE E.J. (1973) - Dix-sept années de mesures expérimentales de l'érosion et du ruissellement sur un sol ferrallitique sableux de basse Côte d'Ivoire. Contribution à l'étude de l'érosion hydrique en milieu intertropical. ORSTOM, Abidjan, 125 p. Thèse Doct. Ing. Fac. Sci. Abidjan, n° 20.
- ROOSE E.J. (1974) - Contribution à l'étude de la résistance à l'érosion de quelques sols tropicaux. in "C.R. Xème Congrès Soc. Int. Sci. Sol, Moscou, 11, : 54 - 61.
- ROOSE E.J. (1977) - Erosion et ruissellement en Afrique de l'Ouest. Vingt années de mesures en petites parcelles expérimentales. Travaux et Documents de l'ORSTOM, n° 78, 108 p.
- ROOSE E.J. (1981) - Dynamique actuelle de sols ferrallitiques et ferrugineux tropicaux d'Afrique Occidentale. Etude expérimentale des transferts hydrologiques et biologiques de matières sous végétations naturelles ou cultivées. ORSTOM, Paris, Collection Travaux et Documents n° 130, 569 p. Thèse Doctorat d'Etat, Univ. Orléans, 1980.
- ROUGERIE G. (1960) - Le façonnement actuel des modelés en Côte d'Ivoire forestière. Thèse Lettres, Paris. Mém. IFAN, 58, 542 p.
- RUIZ FIGUEROA (J.F.), VALENTIN C. (1983) - Effects of various types of cover on soil detachment by rainfall. ORSTOM, Abidjan, 17 p. multigr., 4 tabl. 2 fig., 19 réf.
- SERVANT M. (1973) - Séquences continentales et variations climatiques : évolution du bassin du Tchad au Cénozoïque supérieur. Thèse Sci., Paris, 348 p.
- SPICHIGER R. (1975) - Contribution à l'étude du contact entre flores septentrionales et méridionales sur les lisières des formations forestières humides semi-décidues du "V" Baoulé et de son extension nord-ouest (Côte d'Ivoire). Thèse Doc. Centre Suisse de Recherche d'Abidjan.
- STEINBECK J. (1939) - Les raisins de la colère - Col. "Le livre de poche" ou autres collections
- SWANSON N.P. (1965) - Rotating boom rainfall simulator. Tr. of the A.S.A.E., 8 (1) : 71 - 72.
- TAGINI B. (1965) - Atlas géologique de la Côte d'Ivoire à 1/1.000.000, SODEMI Abidjan, n° 111.
- TAGINI B., GOBERT M. (1972) - Carte géologique de la Côte d'Ivoire à 1/1.000.000, SODEMI, Abidjan (carte réduite à 1/2.000.000 dans l'Atlas de Côte d'Ivoire.
- TARDY Y. (1986) - Le cycle de l'eau. Climats, paléoclimats et géochimie globale. Edit. Masson. 338 p., 134 fig., 59 tabl.

- TERZAGHI K., PECK R.B. (1967) - Soil Mechanics in Engineering Practice. New York, 729 p.
- TESSIER D. (1980) - Sur la signification de la limite de retrait dans les argiles. C.R. Acad. Sci., Paris, 291 (D) : 377 - 380, 2 tabl., 1 fig., 6 réf.
- TESSIER D., PEDRO G. (1980) - Sur les propriétés de gonflement des argiles dans les sols. C.R. Acad. Sci., Paris, 291 (D) : 461 - 464, 2 tabl., 1 fig., 3 réf.
- TESSIER D., PEDRO G., CAMARA L. (1980) - Sur le comportement hydrique et l'évolution de l'organisation des argiles (kaolinites et smectites) au cours de la dessiccation et de la réhumectation. C.R. Acad. Sci., Paris, 290 (D) : 1169 - 1172, 2 fig., 7 réf.
- THEBE B. (1987) - Hydrodynamique de quelques sols du Nord Cameroun. Bassins versants de Mouda. Contribution à l'étude des transferts d'échelles. Thèse Docteur Université des Sciences et Techniques du Languedoc. Montpellier, 306 p., multigr.
- TRICART J., CAILLEUX A. (1965) - Le modelé des régions chaudes. Forêts et savanes. Traité de géomorphologie T.V., SEDES, Paris, 322 p.
- TURC L. (1961) - Evaluation des besoins en eau d'irrigation, évapotranspiration potentielle. Ann. Agro., 12, 1, 13 - 50.
- VOGT J. (1959) - Aspects de l'évolution morphologique récente de l'Ouest Africain. Ann. de Géographie, 367, 193 - 206.
- VALENTIN C. (1978) - Divers aspects des dynamiques actuelles de quelques sols ferrallitiques et interprétations agronomiques. ORSTOM, Abidjan, Multigr., 141 p., 39 tabl., 85 fig., 111 réf.
- VALENTIN C. (1979) - Problèmes méthodologiques de la simulation de pluies. Application à l'étude de l'érodibilité des sols. in "Actes du Colloque sur l'érosion agricole des sols en milieu tempéré non méditerranéen". VOGT H. et VOGT T. (edit.) : 117 - 122, 2 tabl., 3 fig., 26 réf.
- VALENTIN C. (1981 a) - Organisations pelliculaires superficielles de quelques sols de région subdésertique (Agadez-Niger). Dynamique et conséquences sur l'économie en eau : Thèse 3ème cycle, Univ. Paris VII, Etudes et Thèses, ORSTOM, 1985, 259 p.
- VALENTIN C. (1981 b) - Esquisse à 1/25.000 des différenciations morphostructurales de la surface des sols d'un petit bassin versant sahélien (Polaka-Oursi, Nord Haute-Volta) ORSTOM, Abidjan, 11 p.
- VALENTIN C. (1981 c) - Systèmes de production au Sénégal. Evolution de la surface du sol. Piétinement, érosions hydrique et éolienne (1ère campagne) ORSTOM, Abidjan, 29 p., multigr., 3 tabl., 7 fig., 32 réf.
- VALENTIN C. (1985 a) - Effects of grazing and trampling on soil deterioration around recently drilled water holes in the Sahelian Zone. in "Soil



Erosion and Conservation" Soil Conservation Society of America (edit.) : 51 - 65.

- VALENTIN C. (1985 b) - Le bassin versant de Boulsa-Koghnere (Burkina Faso). Organisations superficielles. Interprétation des photographies aériennes de 1956 et de 1980. ORSTOM, Adiopodoumé, 19 p., 3 fig., 7 tabl., 4 réf., 4 pl. photo.
- VALENTIN C., FRITSCH E., PLANCHON O. (1987) - Sols, surfaces et formes d'érosion linéaire en milieu ferrallitique de savane. L'exemple d'un bassin versant du nord-ouest de la Côte d'Ivoire. in "Land Development Management of acid soils". IBSRAM Proc. n° 4, Bangkok, 67 - 81, 5 fig., 21 réf.
- VLEESHAUWER (de) D., LAL R., BOODT (de) M (1978) - Comparison of detachability indices in relation to soil erodibility for some important nigerian soils. *Pédologie*, 28 (1) : 5 - 20, 6 tabl., 2 fig.
- VUILLAUME G. (1981) - Elaboration informatique des données recueillies en simulation de pluie. ORSTOM Paris - Collection Initiation et documentation technique, 3 tomes : I, 147 p., II, 134 p. III, 131 P.
- WISCHMEIER W.H., SMITH D.D. (1958) - Rainfall energy and its relationship to soil loss. *Trans. Amer. Géophys. Union*, 39 : 285 - 291.
- WISCHMEIER W.H., SMITH D.D., UHLAND D.R. (1958) - Evaluation of factors in the soil-loss equation. *Agricultural Eng.*, 39 : 458 - 462 et 474.
- WISCHMEIER W.H. (1960) - Cropping - management factor evaluations for an universal soil-loss equation. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 24, 4 : 322 - 326.
- WISCHMEIER W.H., SMITH D.D. (1960) - An universal soil loss estimating equation to guide conservation farm planning. In "Proc. of the VIIth Intern. Cong. Soil Sci., Madison, 1 : 418 - 425.
- WISCHMEIER W.H. (1965) - Surface runoff in relation to physical and management factors. *Proceedings, First Pan American Soil Conservation Congress.* Sao Paulo, Brazil, 237 - 244.
- WISCHMEIER W.H., JOHNSON C.B., CROSS B.U. (1971) - A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites. *J. of Soil and Water Conservation.* 26, 5, 189 - 192.
- WISCHMEIER W.H., SMITH D.D. (1978) - Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning. USDA, Agriculture Handbook n° 537, 58 p.
- YAALON D.H. (1974) - Note on some geomorphic effects of temperature changes on desert surfaces. *Z. f. Geomorph. N.F., Suppl. Ed.*, n° 21 : 29 - 34, 1 fig., 2 photo., 6 réf.
- YACE I. (1967) - Géologie et pétrographie du birrimien schisto-volcanique et des granites de la région de Toumodi dans le Précambrien de Côte d'Ivoire. D.E.S. Fac. Sc. Abidjan.



## LISTE DES FIGURES

	pages	
I,1	Carte de localisation des sites expérimentaux	2
I,2	Esquisse géologique du transect (Côte d'Ivoire, Burkina Faso, Niger)	9
I,3	Modelé en région granitique au centre du Burkina Faso (Plateau Mossi)	15
I,4	Modelé en région schisteuse au nord-ouest du Burkina Faso	15
I,5	Modelé en région des "Plateaux du nord" de la Côte d'Ivoire	18
I,6	Modelé en région des "Collines du sud-ouest" de la Côte d'Ivoire	19
I,7	Modelé dans la région de l'Ader Doutchi ("Bassin sédimentaire occidental" du Niger)	22
I,8	Disposition des différentes zones climatiques dans l'aire de convergence intertropicale, déterminisme des saisons	25
I,9	Isohyètes, zones et domaines climatiques du sud Niger au sud-ouest de la Côte d'Ivoire	26
I,10	Diagrammes ombro-hydrothermiques de Tahoua (Niger) et d'Abidjan (Côte d'Ivoire)	34
II,1	Esquisse des différents domaines pédologiques de la Côte d'Ivoire, du Burkina Faso et du Niger	48
II,2	Séquence théorique de sols dans le domaine isohumique du nord du Burkina Faso	51
II,3	Relations entre les sols halomorphes et les sols isohumiques alcalisés dans le nord du Burkina Faso	52
II,4	Associations de sols liées aux profondeurs d'abrasion des altérites dans le domaine ferrugineux du Burkina Faso	54
II,5	Association de sols sur "Sables tertiaires" du bassin sédimentaire côtier de "Basse Côte d'Ivoire" (Adiopodoumé)	60
II,6	Association de sols sur granite dans la région des "Collines du sud-ouest" de la Côte d'Ivoire	61
II,7	Association de sols sur schiste dans la région du "Centre-sud" de la Côte d'Ivoire	62
II,8	Association de sols sur roches cristallines acides dans la région des "Plateaux du nord" de la Côte d'Ivoire	63
II,9	Association de sols sur roche basique dans la région des "Plateaux du nord" de la Côte d'Ivoire	64
II,10	Localisation des sites expérimentaux de Galmi	66
II,11	Disposition des sites Galmi 1, 2, 3 et 4 sur la géoséquence	66
II,12	GALMI : diagramme des textures	68
II,13	GALMI 1 : profil pédologique et composition volumique	68
II,14	GALMI 2 : profil pédologique et composition volumique	70
II,15	GALMI 3 : profil pédologique et composition volumique	70
II,16	GALMI 4 : profil pédologique et composition volumique	70
II,17	Organisations superficielles du site Galmi 1 (en annexe)	hors texte
II,18	Organisations superficielles du site Galmi 2 (en annexe)	hors texte
II,19	Organisations superficielles du site Galmi 3 (en annexe)	hors texte
II,20	Organisations superficielles du site Galmi 4 (en annexe)	hors texte
II,21	GALMI : agrégats stables aux tests de HENIN et MONNIER	73
II,22	GALMI : relation instabilité structurale-vitesse de percolation et classement des structures	73
II,23	Localisation des sites expérimentaux d'Oursi	76
II,24	Disposition des sites Oursi 1, 2 et 3 sur la géoséquence	76
II,25	OURSI : diagramme des textures	82
II,26	OURSI 1 : profil pédologique et composition volumique	80
II,27	OURSI 2 : profil pédologique et composition volumique	80
II,28	OURSI 3 : profil pédologique et composition volumique	80
II,29	Organisations superficielles du site Oursi 1 (en annexe)	hors texte
II,30	Organisations superficielles du site Oursi 2 (en annexe)	hors texte
II,30'	Organisations superficielles du site Oursi 2 (en annexe)	hors texte
II,30"	Organisations superficielles du site Oursi 3 (en annexe)	hors texte
II,31	OURSI : agrégats stables aux tests de HENIN et MONNIER	82

II,32	OURS I ; relation instabilité structurale-vitesse de percolation et classement des structures	86
II,33	Localisation des sites expérimentaux de Pouni, Saint Paul, et Batanga (Burkina Faso)	86
II,34	Disposition des sites Pouni 1, 2 et 3 sur la toposéquence	86
II,35	Disposition des sites Saint Paul 1 et 2 sur la toposéquence	86
II,36	POUNI et SAINT PAUL ; diagramme des textures	92
II,37	POUNI 2 ; profil pédologique et composition volumique	92
II,38	POUNI 3 ; profil pédologique et composition volumique	92
II,39	SAINT PAUL 1 ; profil pédologique et composition volumique	94
II,40	SAINT PAUL 2 ; profil pédologique et composition volumique	94
II,41	BATANGA ; profil pédologique et composition volumique	94
II,42	POUNI, SAINT PAUL et BATANGA ; agrégats stables aux tests de HENIN et MONNIER	98
II,42'	POUNI, SAINT PAUL, BATANGA et LOUMBILA ; relation instabilité structurale-vitesse de percolation et classement des structures	98
II,43	Localisation du site expérimental de Loubila (Burkina Faso)	103
II,44	LOUMBILA, BATANGA ; diagramme des textures	103
II,45	LOUMBILA ; profil pédologique et composition volumique	103
II,46	Positionnement des sites expérimentaux de Korhogo 1, 2, 3, 4 et 5 sur la toposéquence	106
II,47	KORHOGO 1 ; profil pédologique et composition volumique	108
II,48	KORHOGO 2 ; profil pédologique et composition volumique	108
II,50	KORHOGO ; diagramme des textures	108
II,51	Positionnement des sites expérimentaux de Sakassou 1, 2, 3 et 4 sur la toposéquence	114
II,52	SAKASSOU 1 ; profil pédologique et composition volumique	119
II,53	SAKASSOU 2 ; profil pédologique et composition volumique	119
II,54	SAKASSOU 4 ; profil pédologique et composition volumique	123
II,55	SAKASSOU ; diagramme des textures	119
II,56	SAKASSOU 1, 2, 3 ; agrégats stables aux tests de HENIN et MONNIER	123
II,57	SAKASSOU ; relation instabilité structurale-vitesse de percolation et classement des structures	123
II,58	Positionnement des sites expérimentaux de Taï 1 et 3	126
II,59	TAÏ 1 ; profil pédologique et composition volumique	130
II,60	TAÏ 3 ; profil pédologique et composition volumique	130
II,61	TAÏ ; diagramme des textures	130
II,62	TAÏ 1 et 3 ; agrégats stables aux tests de HENIN et MONNIER	130
III,1	Schéma d'ensemble du dispositif de simulation de pluie	142
III,2	Exemple de positionnement d'un couple de parcelles après levé topographique de la zone expérimentale	144
III,3	Exemple de représentation cartographique des organisations superficielles du sol d'une parcelle	156
IV,1	Hydrogrammes théoriques de la pluie, du ruissellement et de l'infiltration	162
IV,2	Turbidigramme et solidigramme théoriques	166
IV,3	Typologie des turbidigrammes	170
IV,4	Identification de quelques composantes de la turbidité traduisant une érosion en nappe et une érosion concentrée	172
IV,5	Combinaison de turbidigrammes dans l'espace pour une averse (diagramme théorique)	174
IV,6	Combinaison de turbidigrammes dans le temps pour un train d'averses (même intensité, même temps de ressuyage, diagrammes théoriques)	175
IV,7	GALMI 1 ; comparaison des comportements hydrodynamiques et érosifs du sol "naturel" et du sol "labouré", à l'issue d'une averse, sur sol initialement sec	179
IV,8	GALMI 2 ; comparaison des comportements hydrodynamiques et érosifs du sol "naturel" et du sol "labouré", à l'issue d'une averse, sur sol initialement humide	181
IV,9	GALMI 3 ; comparaison des comportements hydrodynamiques et érosifs du sol "naturel" et du sol "labouré", à l'issue d'une averse, sur sol initialement sec	183
IV,10	POUNI 3 ; comparaison des comportements hydrodynamiques et érosifs du sol soumis à différents traitements culturaux, à l'issue d'une averse, sur sol initialement ressuyé	185

IV,11	TAï 1 et 3 : comparaison des comportements hydrodynamiques et érosifs des sols défrichés de l'amont (TAï 1) et de l'aval (TAï 3), à l'issue d'une averse, sur sols initialement ressuyés, et très humides	190
IV,12	TAï 1 et 3 : comparaison des comportements hydrodynamiques et érosifs des sols défrichés et couverts de riz pluvial, en amont (TAï 1) et en aval (TAï 3), à l'issue d'une averse, sur sols initialement ressuyés et très humides	192
IV,13	TAï 3 : comparaison des comportements hydrodynamiques et érosifs des sols soumis à trois techniques culturales, à l'issue d'une averse, sur sol initialement ressuyé	192
IV,14	TAï 3 : évolution d'un buttage en cours d'averse, modification de l'inclinaison du plan d'impact des gouttes → "effet cosinus"	197
IV,15	Histogramme des coefficients moyens du ruissellement des parcelles "naturelles", pour des érosivités cumulées conformes aux précipitations annuelles (225 à 1000 points)	204
IV,16	Histogramme des coefficients moyens du ruissellement des parcelles "naturelles", pour des érosivités cumulées identiques (500 points)	204
IV,17	OURS 2 : évolution des lames ruisselées cumulées, effets des temps de ressuyage pour des trains d'averses à intensités identiques	206
IV,18	POUNI 2 : évolution des lames ruisselées cumulées, effets des variations des intensités pour des temps de ressuyage identiques	206
IV,19	Evolution des lames ruisselées cumulées sur parcelles "naturelles", en zone sahélienne (OURS et GALMI), en zone guinéenne (SAKASSOU)	208
IV,20	Histogramme des coefficients moyens du ruissellement des parcelles "labourées", pour des érosivités cumulées identiques (500 points)	214
IV,21	Evolution des lames ruisselées cumulées sur parcelles "labourées", en zone sahélienne (OURS et GALMI), en zone guinéenne (SAKASSOU)	215
IV,22	Analyse de la persistance de l'effet du labour, effet fugace sur OURS 2	217
IV,23	Analyse de la persistance de l'effet du labour, effet favorable et durable sur POUNI 2	217
IV,24	Analyse de la persistance de l'effet du labour, effet immédiatement néfaste et durable sur SAKASSOU 4	219
IV,25	Analyse de la persistance de l'effet du labour, effet provisoirement néfaste sur KORHOGO 1	219
IV,26	Résumé des effets des labours en domaines ferrugineux et ferrallitiques	220
IV,27	Effets des couverts végétaux sur les lames ruisselées cumulées en zone guinéenne mésophile (Sakassou)	222
IV,28	Effets du couvert végétal sur les lames ruisselées cumulées en zone guinéenne ombrophile (TAï)	228
IV,29	Histogramme des coefficients moyens du ruissellement des sols sous couverts végétaux (savane de SAKASSOU et riz pluvial sur TAï)	226
IV,30	Caractéristiques des principales façons culturales	231
IV,31	Histogramme des coefficients moyens du ruissellement de sols différemment cultivés	233
IV,32	Effets du billonnage sur l'évolution des lames ruisselées des parcelles de GALMI	236
IV,33	Effets du buttage cloisonné et du paillage sur les intensités du ruissellement de POUNI, BATANGA et LOUMBILA	239
IV,34	Effets du buttage simple sur les intensités du ruissellement de TAï 1 et TAï 3	239
IV,35 à 41	Evolution des érosions cumulées sur les différents sites	248
IV,42	Courbes-enveloppes des érosions cumulées sur sols "naturels" et "labourés" par domaines pédoclimatiques, pour une érosivité cumulée de 500 points	250
IV,43	Les quatre types d'évolution des détachabilités des sols "naturels" avec le cumul des averses	264
IV,44	Evolution conjointes des détachabilités des sols "naturels" et "labourés" ; classement de leurs comportement érosifs	266
IV,45	Comparaison de l'évolution des détachabilités des sols "naturels" et "labourés"	269
IV,46	Classes de comportements érosifs et caractéristiques générales des sols	269
IV,47	Comparaison de l'évolution des détachabilités des sols billonnés de GALMI	281
IV,48	Effets du buttage simple sur l'érosion (TAï, averses unitaires)	285
IV,49	Effets du buttage cloisonné sur l'érosion (POUNI, BATANGA et LOUMBILA, averses unitaires)	285
IV,50	Effets du paillage sur l'érosion (POUNI, BATANGA, LOUMBILA, averses unitaires)	287

IV.51	"Indices d'érodibilité" des sols du transect, calculés à partir des données "simulateur", d'après la formule de WISCHMEIER et SMITH (K Sim)	293
IV.52	Discrimination des causes de l'érosion hydrique et "indice d'érodibilité K Sim"	295
V.1	Effet de l'énergie des averses sur la détachabilité des sols - relation $CMI = f(EV)$ -	310
	a Oursi 2 labourée - Tai 3 labourée	
	b Korhogo 4 labourée	
	c Sakassou 4 labourée	
	d Pouni 1 labourée	
V.2	Effet de l'énergie de l'averse sur la turbidité des premiers ruissellements - relation $C_1 = f(EC_{c1})$ -	312
V.3	Effet de l'ordre de succession d'averses d'énergies différentes au cours de quelques essais	314
V.4	Différentes origines des variations d'interception de l'énergie des pluies	318
V.5 a et b	Mise en évidence de l'hétérogénéité des comportements hydriques des parcelles, - relation $F_n = f(I_m)$ -	318
V.5c	Exemples d'expressions de la relations $F_n = f(I_m)$ sur sols initialement secs humides	321
V.5d	Séparation des types de comportements hydriques par domaine climatique et par traitement	321
V.5e	Evolutions conjointes des comportements hydriques des parcelles "naturelles" et "labourées", de l'état sec à l'état humide	323
V.5f	Evolutions conjointes des intensités limites ( $I_l$ ) sur parcelles "naturelles" et "labourées", de l'état sec à l'état humide	323
V.6	Coefficient "u" = superficie de parcelle offerte à l'infiltration dès l'arrêt de la pluie	326
V.7	Atténuation du "splash" par l'épaisseur de la lame ruisselante "Dm", étude de la relation - $C_s - C_x = f(D_m)$ -	328
V.8	Mesure de la vitesse du courant de ruissellement sur parcelles expérimentales	336
V.9	Relation liant la vitesse du courant de ruissellement à sa charge hydraulique (OURSI)	340
V.10	Diagrammes de HJULSTRØM, abrasion, transport et dépôt des particules solides et pseudo-solubles (érosion hydrique, flux laminaire)	340
V.11	Interactions entre l'abrasion d'un sol, le transport et le dépôt de la charge solide résultante d'après FOSTER et MEYER	344
V.12	Effet de la turbulence du flux sur l'abrasion liée au courant de ruissellement (turbidité $C_x$ )	347
V.13	Détermination de l'abrasion liée au courant de ruissellement par la relation - $C_x = f(R_x)$ -	348
V.14	Détermination de l'érosion concentrée par les types de turbidigrammes, érosions concentrées occasionnelles (OURSI et TAI)	352
V.15	Détermination de l'érosion concentrée par les types de turbidigrammes, érosion concentrée permanente liée aux variations de la vitesse du courant de ruissellement (SAKASSOU 4 "labourée")	
V.16	Histogramme des fréquences des paliers de turbidité " $C_x$ "	355
V.17	Dynamique de ressuyage des sols en leur état naturel, prise en compte des 10 ou des 50 premiers centimètres	361
V.18	Exemples de cinétiques d'humectation et de ressuyage en zone sahélienne (GALMI) et en zone guinéenne (SAKASSOU)	362
V.19	Augmentation de la pluie d'imbibition et de son énergie avec l'allongement du temps de ressuyage, relation - $EV_{Pi} = f(\log Ta)$ -	365
V.20	"Splash" lié à l'énergie de la pluie d'imbibition, relation - $C_s - C_x = f(EV_{Pi})$ -	367
V.21a	Augmentation de l'infiltration avec le ressuyage des sols, relation - $F_n = f(\log Ta)$ -	369
V.21b	Colmatage des porosités superficielles avec le cumul de l'énergie des averses, relation - $F_n = f(SEV)$ -	369
V.22a	Effets conjugués de l'humectation et de l'érosivité sur l'intensité du ruissellement, en régime permanent, sols "naturels"	371
V.22b	Effets conjugués de l'humectation et de l'érosivité sur l'intensité du ruissellement, en régime permanent, sols "labourés"	371
V.23	Modification des propriétés mécaniques des sols vertiques liées à leur humectation, effets sur leur détachabilité	374
V.24	Cinétique de ressuyage de deux sols vertiques, mise en évidence de leurs domaines de sursaturation sur les dix premiers centimètres	374

V,25:	Enveloppes des érosions extrêmes des sols selon leur texture, leur charge en éléments grossiers et leurs traitements	379
V,26	Relation liant la détachabilité des sols argilo-sableux "labourés" au taux de sables grossiers	381
V,27	Relation liant la détachabilité des sols sableux "labourés" au taux d'argile	381
V,28:	Relation liant la détachabilité des sols argilo-sableux, "naturels", au taux de limons	381
V,29:	Influence de la pente topographique sur la détachabilité des sols sableux "labourés", sans éléments grossiers	383
V,30:	Types d'épandages d'éléments grossiers et infiltrabilité résultante des surfaces	388
V,31:	Influence de la charge superficielle en éléments grossiers sur la détachabilité	388
V,32:	Evolution granulométrique des sédiments avec le cumul des averses (1er et 2ème types d'évolution)	
V,33:	Evolution granulométrique des sédiments avec le cumul des averses (3ème type d'évolution)	391
V,34: a	Sélectivité granulométrique de l'érosion hydrique sur GALMI 3 et GALMI 4	393
V,34 b	Sélectivité granulométrique de l'érosion hydrique sur KORHOGO 1 et KORHOGO 5	394
V,34 c	Sélectivité granulométrique de l'érosion hydrique sur SAKASSOU 2 et SAKASSOU 41	395
V,34 d	Sélectivité granulométrique de l'érosion hydrique sur TAÏ 3	398
V,35	Détachabilité liée au splash	398
V,36:	Détachabilité liée au courant de ruissellement	400
V,37:	Détachabilité résultant de la conjonction du splash et de l'abrasion du courant	400
V,38	Modification de l'intensité du ruissellement avec la pente topographique	400
V,39	Erosion théorique résultant de la conjonction des deux modes de détachabilité	403
V,40	Erosion des sols argilo-sableux meubles kaolinitiques ou smectitiques	403
V,41	Erosion des sols sableux meubles - parcelle naturelle, parcelle labourée	406
V,42	Erosion des sols gravillonnaires	406
V,43	Légende des schémas de lames micromorphologiques	410
V,44:	Surface élémentaire de sol "naturel", sableux à sablo-faiblement argileux, en zone sèche + concentrations plasmiqes et infiltrations résultantes	460
V,45:	Surface élémentaire de sol "naturel", sableux à sablo-faiblement argileux, en zone humide + concentrations plasmiqes et infiltrations résultantes	461
V,46:	Surface élémentaire de sol "naturel", argilo-sableux, en zone sèche + concentrations plasmiqes et infiltrations résultantes	462
V,47:	Surface élémentaire de sol "naturel", argilo-sableux, en zone humide + concentrations plasmiqes et infiltrations résultantes	463
V,48:	Surfaces élémentaires de sols "labourés", sableux à sablo-faiblement argileux, des zones sèches (A) et humides (B) + concentrations plasmiqes et infiltrations résultantes	464
V,49:	Surfaces élémentaires de sols "labourés", argilo-sableux des zones sèches (A) et humides (B) + concentrations plasmiqes et infiltrations résultantes	465





## LISTE DES TABLEAUX

	pages
I Pluviométries moyennes mensuelles et annuelles de différents postes et stations du Niger, du Burkina Faso et de la Côte d'Ivoire (en annexe)	hors texte
II Irrégularités interannuelles des précipitations dans le sahel malien	29
III Pluies de fréquences centenaires sèches et humides, décennales sèches et humides et pluviométrie moyenne	29
IV Pluies de différentes fréquences et coefficients de variation pour quelques postes du Burkina Faso	30
V Pluies de différentes fréquences et coefficients de variation pour quelques postes de Côte d'Ivoire	30
VI Régimes thermiques	32
VII Evolution latitudinale de la transmission du rayonnement	35
VIII Bilans hydriques théoriques des différents domaines climatiques du transect étudié (en annexe)	hors texte
IX Comparaison des régimes hydriques	39
X Comparaison des drainages "HENIN-AUBERT" et ceux du bilan hydrique théorique "TURC"	40
XI Quelques caractéristiques analytiques de sols isohumiques brun-rouge sub-arides et bruns vertiques	50
XII Quelques caractéristiques analytiques de sols du domaine ferrugineux	56
XIII Caractéristiques des horizons humifères du domaine ferrallitique ivoirien	58
XIV Caractéristiques analytiques de sols sur sables tertiaires du bassin sédimentaire côtier de Côte d'Ivoire	60
XV Caractéristiques analytiques de sols sur granites migmatiques de la région des collines du sud-ouest ivoirien	61
XVI Caractéristiques analytiques de sols sur schistes arkosiques dans la région des collines du centre-sud ivoirien	62
XVII Caractéristiques analytiques de sols sur roches cristallines acides dans la région des plateaux du nord	63
XVIII Caractéristiques analytiques de sols sur chloritoschistes dans la région des plateaux du nord	64
XIX Galmi : capacités hydriques de la tranche 0 à 50 cm	71
XX Dursi : capacités hydriques des tranches de 50 - 100 et 150 cm	79
XXI Sites du lac de Bam : Capacités hydriques des tranches 0 - 50 et 150 cm	93
XXII Sites du lac de Bam : Garniture cationique des complexes absorbants et instabilité des structures	100
XXIII Loubila : Capacités hydriques de la tranche 0 - 50 cm	105
XXIV Korhogo 2 : Capacités hydriques des tranches 0 - 50 - 100 - 150 cm	111
XXV Sakassou 1, 2 et 3 : Capacités hydriques des tranches 0 - 50 - 100 - 150 cm	120
XXVI Tai : Capacités hydriques des tranches 0 - 50 - 100 - 150 cm	131
XXVII Tai - Liaisons entre l'instabilité structurale, la texture et la nature des composés humifiés	132
XXVIII Toposéquence de Tai - Evolution de la capacité d'échange liée à celle du complexe argilo-humique	133
XXIX Caractéristiques des sols (en annexe)	hors texte
XXX Caractéristiques des réservoirs (en annexe)	hors texte
XXXI Energies cinétiques sous pluies naturelles et sous pluies simulées	143
XXXII Durées des averses pour quatre intensités de pluies selon des périodes de récurrences annuelles et décennales sur les différents sites étudiés	148
XXXIII Protocole expérimental sur les trois couples de parcelles de sites Galmi 1 et Galmi 3	150
XXXIVa Galmi : Rappel de quelques caractéristiques du site	177

XXXIVb	Galai : Données relatives aux réactions hydrodynamiques et érosives des 3 parcelles	177
XXXVa	Pouni : Rappel de quelques caractéristiques du site	185
XXXVb	Pouni 3 : Données relatives à divers traitements culturaux	186
XXXVIa	Taï : Rappel de quelques caractéristiques du site	188
XXXVIb	Taï : Données relatives aux réactions hydrodynamiques et érosives	189
XXXVII	Taï - Effet du couvert végétal - Données relatives aux réactions hydrodynamiques et érosives	191
XXXVIIb	Taï : Effets techniques culturales - Données relatives aux réactions hydrodynamiques et érosives	195
XXXIX	Rappel de quelques données descriptives des sols et de leur environnement	202
XL	Sakassou - Effet du couvert végétal sur la phase d'imbibition	223
XLI	Sakassou - Sols de saison des pluies ; relations entre les modifications des régimes d'humectation et les caractéristiques des horizons de profondeur	224
XLII	Taï - Effet d'un couvert de riz pluvial sur l'apparition des premiers ruissellements	227
XLIII	Taï - Relations entre les modifications des régimes d'humectation et les caractéristiques des horizons de profondeur	228
XLIV	Galai - Effet du billonnage sur les lames ruisselées cumulées, comparaison avec le labour à plat	234
XLV	Galai - Effet du billonnage sur les lames ruisselées, comparaison portant sur l'ancienneté du billonnage	235
XLVI	Pouni, Batanga, Loumbila et Taï - Effets du buttage et du paillage sur l'infiltration, comparaison avec un labour à plat	238
XLVII	Identification des sols fournissant les érosions limites	251
XLVIII	Turbidités moyennes pondérées et caractéristiques secondaires des sols et des interfaces en leur état naturel (en annexe)	hors texte
XLIX	Parcelles labourées - identification des sols fournissant les érosions limites	257
L	Détachabilité des sols labourés, comparaison avec les interfaces naturelles	258
LII	Liaison entre les modes d'évolution des turbidités et la distribution des types de turbidigrammes	270
LIII	Sakassou - Effet du couvert végétal de saison des pluies sur l'érosion	272
LIV	Sakassou - Evaluation des érosions annuelles par sites	273
LV	Taï - Effet de l'adjonction d'un couvert de riz pluvial sur des sols de défriche forestière traditionnelle	274
LVI	Sakassou et Taï - Modification des modalités de l'érosion par l'adjonction d'un couvert végétal	275
LVII	Galai - Effets du billonnage sur l'érosion hydrique	278
LVIII	Galai - Modification des modalités de l'érosion liée au billonnage des sols	280
LIX	Pouni, Batanga, Loumbila, Taï : rappel de quelques caractéristiques des sols et de l'environnement	284
LX	Pouni, Batanga, Loumbila, Taï - Effets d'un buttage cloisonné, d'un buttage simple, d'un labour paillé sur l'érosion	284
LXI	Erodibilités maximales sous simulation de pluies (kSIM) pour des érosivités caractéristiques des sites (SR var.) et pour une érosivité constante (SR 500) (en annexe)	hors texte
LXII	Protocole expérimental particulier d'Oursi, érodibilités maximales obtenues sous simulation de pluies (kSIM) (en annexe)	hors texte
LXIII	Coefficients d'atténuation de l'érosion assurée par différents types de couverts végétaux (en annexe)	hors texte
LXIV	Coefficients d'atténuation de l'érosion par différentes techniques culturales (en annexe)	hors texte
LXV	Comparaison des érodibilités maximales mesurées sous simulation de pluies (kSIM) avec celles calculées (K, USA calc) (en annexe)	hors texte
LXVI	Comparaison de quelques valeurs limites de l'érodibilité en Afrique de l'Ouest, au Brésil, aux Etats-Unis, obtenues selon trois méthodes (en annexe)	hors texte

LXVII	Comparaison de quelques valeurs limites du facteur "types de couverts végétaux" obtenues selon deux méthodes (en annexe)	hors texte
LXVIII	Hétérogénéité des comportements hydriques et régularité des micromodelés des parcelles (en annexe)	hors texte
LXIX	Modalités de l'érosion liée aux effets du splash et du courant de ruissellement	330
LXX	Vitesses calculées des courants de ruissellement (MANNING) et indice de turbulence (REYNOLDS) (en annexe)	hors texte
LXXI	Vitesses du courant de ruissellement (résumé du tableau LXX)	338
LXXII	Coefficients de rugosité lié aux aspérités du sol	339
LXXIII	Exemples de médianes granulométriques de sédiments et vitesses d'ablation correspondantes	342
LXXIV	Erosion liée au courant de ruissellement, paramètres des équations $C_x = f(R_x)$ et $C_x = F(v)$ (en annexe)	hors texte
LXXV	Caractéristiques des sols fournissant une érosion concentrée continue	353
LXXVI	Paramètres de l'équation $C_s - C_x = f(EV_{Pi})$	366
LXXVII	Relation entre la détachabilité et le taux de recouvrement des sols en éléments grossiers	387
LXXVIII	Sélectivité de l'érosion hydrique, variation des classes granulométriques des sédiments avec l'érosion cumulée (en annexe)	hors texte



## TABLE DES MATIERES

AVANT-PROPOS	Pages
INTRODUCTION	
PREMIERE PARTIE : LES MILIEUX NATURELS	1
CHAPITRE I : LOCALISATION DES SITES EXPERIMENTAUX	1
I.1. Zone sahélienne sud	1
I.1.1 Région nord du Burkina Faso	1
I.1.2. Région sud Niger	3
I.2. Zone sub-sahélienne	3
I.2.1. Région centre nord du Burkina Faso	3
I.3. Zone nord soudanienne	4
I.3.1. Région centre du Burkina Faso	4
I.4. Zone sub soudanienne	4
I.4.1. Région nord Côte d'Ivoire	4
I.5. Zone guinéenne mésophile	5
I.5.1. Région centre Côte d'Ivoire	5
I.6. Zone guinéenne ombrophile	5
I.6.1. Région sud-ouest Côte d'Ivoire	5
CHAPITRE II : CARACTERISTIQUES GENERALES DES MILIEUX ETUDIES	7
II.1. Histoire géologique de la région	8
II.1.1. Le Précambrien inférieur	8
II.1.2. Le Précambrien moyen	10
II.1.3. Le Précambrien supérieur	11
II.1.4. L'Infracambrien	11
II.1.5. Le Primaire	12
II.1.6. Du Permo-trias au Crétacé inférieur continental	12
II.1.7. Le Crétacé supérieur marin, épicontinental puis continental	12
II.1.8. Le Paléocène marin	13
II.1.9. Le Continental Terminal post-Eocène	13
II.1.10. Le Quaternaire	13
II.2. Les principales régions naturelles	13
II.2.1. Le Burkina Faso	14
II.2.2. La Côte d'Ivoire	17
II.2.3. La région de l'Ader Doutchi (bassin occidental du Niger)	22
II.3. Les climats	24
II.3.1. La genèse des régimes climatiques	24
II.3.2. La pluviométrie	27
II.3.3. Les autres éléments du climat	31
II.3.4. L'évapotranspiration potentielle : évaluation d'un bilan hydrique théorique	35
II.3.5. La distribution des domaines climatiques et les particularités régionales	40
DEUXIEME PARTIE : LES SOLS	45
CHAPITRE III : IDENTIFICATION DES DOMAINES PEDOLOGIQUES DU TRANSECT	47
III.1. Le domaine des sols isohumiques bruns sub-arides	49
III.2. Le domaine des sols ferrugineux tropicaux	53
III.3. Le domaine des sols ferrallitiques	57

CHAPITRE IV : CARACTERISATION DES SOLS DES DIFFERENTS MILIEUX EXPERIMENTAUX	65
IV.1. Les sols des sites expérimentaux du bassin versant de GALMI	65
IV.1.1. Caractères morphologiques	65
IV.1.2. Caractéristiques analytiques	69
IV.1.3. Référence à la classification C.P.C.S.(1967)	74
IV.2. Les sols des sites expérimentaux d'un des bassins versants de la mare d'OURSI	75
IV.2.1. Caractères morphologiques	77
IV.2.2. Caractéristiques analytiques	79
IV.2.3. Classification	84
IV.3. Les sols des sites expérimentaux du bassin du lac de BAM	87
IV.3.1. Caractères morphologiques	88
IV.3.2. Caractéristiques analytiques	91
IV.3.3. Classification	100
IV.4. Les sols du site expérimental du lac de LOUMBILA	101
IV.4.1. Caractères morphologiques	102
IV.4.2. Caractéristiques analytiques	104
IV.4.3. Classification	105
IV.5. Les sols des sites expérimentaux du bassin versant de VARANIENE - KORHOGO	106
IV.5.1. Caractères morphologiques	109
IV.5.2. Caractéristiques analytiques	110
IV.5.3. Classification	113
IV.6. Les sols des sites expérimentaux du bassin versant de SAKASSOU	113
IV.6.1. Caractères morphologiques	116
IV.6.2. Caractéristiques analytiques	118
IV.6.3. Classification	125
IV.7. Les sols des sites expérimentaux de la station écologique de TAI	126
IV.7.1. Caractères morphologiques	127
IV.7.2. Caractéristiques analytiques	129
IV.7.3. Classification	133
IV.8. Conclusion partielle ; résumé des caractéristiques des sols	134
 TROISIEME PARTIE : DISPOSITIF DE MESURE ET METHODES	 141
CHAPITRE V : LE DISPOSITIF EXPERIMENTAL	141
V.1. Le simulateur de pluie	141
V.2. Les parcelles	145
V.3. Les dispositifs de mesure	146
CHAPITRE VI : LES PROTOCOLES EXPERIMENTAUX	147
VI.1. Le traitement des parcelles	147
VI.2. Caractéristiques des séquences pluvieuses	147
VI.3. Autres opérations effectuées sur le simulateur	151
CHAPITRE VII : LES AUTRES DETERMINATIONS DE TERRAIN	153
VII.1. Représentativité des milieux et caractérisation morphologique des sols	153
VII.2. Caractérisations physique et chimique des sols	153
VII.2.1. Analyses de laboratoire	154
VII.2.2. Expérimentations annexes de terrain	154
VII.3. Caractérisation des organisations de la surface du sol	154
VII.3.1. Identification des principales organisations superficielles	155
VII.3.2. Représentation des principales organisations superficielles	157
VII.3.3. Description des organisations superficielles et prélèvements	157
VII.4. Conclusion partielle	157

QUATRIEME PARTIE ; PREMIER NIVEAU D'ANALYSE ; ETUDE EXPERIMENTALE DES COMPORTEMENTS HYDRODYNAMIQUES ET EROSIFS GLOBAUX DES SOLS	159
CHAPITRE VIII ; LES DONNEES D'OBSERVATION	161
VIII.1. Description générale des phénomènes observables et définitions	161
VIII.1.1. Les processus de ruissellement	161
VIII.1.2. Les processus d'érosion	164
VIII.2. Typologie des turbidigrammes	168
VIII.2.1. Le turbidigramme de l'érosion en nappe	168
VIII.2.2. Le turbidigramme de l'érosion concentrée	170
VIII.2.3. Les turbidigrammes dérivés des deux types précédents	173
VIII.2.4. Combinaison des turbidigrammes dans l'espace et dans le temps	173
VIII.3. Exemples d'interprétation de quelques hydrogrammes et de quelques turbidigrammes	176
VIII.3.1. Les trois sites expérimentaux de GALMI	176
VIII.3.2. Répercussions de quelques techniques culturales pratiquées sur un site expérimental de POUNI	184
VIII.3.3. Différentes situations expérimentales sur TAI	188
VIII.4. Conclusion partielle ; une première évaluation sur la dynamique actuelle de quelques surfaces représentatives	197
CHAPITRE IX ; LES RUISSELLEMENTS	201
IX.1. Les lames ruisselées cumulées ; comparaisons liées aux différentes situations expérimentales	201
IX.1.1. Réaction des sols en leur état naturel de la fin de la saison sèche	201
IX.1.2. Réaction des sols soumis à un labour de référence	213
IX.1.3. Les effets des couverts végétaux	221
IX.1.3.1. Couvert herbacé des savanes "humides" de SAKASSOU	221
IX.1.3.2. Couvert de riz pluvial sur la défriche forestière de TAI	226
IX.1.4. Les effets des traitements culturaux	229
IX.1.4.1. Effets du billonnage sur GALMI	233
IX.1.4.2. Effets d'autres techniques culturales	238
IX.1.5. Conclusion partielle	242
CHAPITRE X ; LES EROSIONS GLOBALES	247
X.1. L'érosion des sols en leur état naturel de fin de saison sèche	249
X.1.1. Les niveaux d'érosion sont-ils liés aux domaines pédologiques ?	249
X.1.2. Niveaux d'érosion et caractéristiques intrinsèques des sols	251
X.1.3. L'érosion dans l'espace ; vers une prévision des comportements érosifs des versants	254
X.2. L'érosion des sols soumis à un labour de référence	255
X.2.1. Niveaux d'érosion des sols labourés et domaines pédologiques	255
X.2.2. Niveaux d'érosion des sols labourés et caractéristiques intrinsèques des sols	257
X.2.3. Evolution des détachabilités, comparaison de leurs valeurs sur les surfaces naturelles et labourées	262
X.3. Effets des couverts végétaux sur l'érosion hydrique	271
X.3.1. Les effets des couverts végétaux sur l'érosion globale	271
X.3.2. Les effets des couverts végétaux sur les modes d'érosion	275
X.4. Effets des techniques culturales sur l'érosion hydrique	276
X.4.1. Les effets du billonnage	277
X.4.2. Les évolutions comparées des détachabilités des sols billonnés	280
X.4.3. Les effets des autres techniques culturales	283
CHAPITRE XI ; L'INTEGRATION DES DIFFERENTS FACTEURS DE L'EROSION HYDRIQUE, PROBLEME DU CLASSEMENT DES ERODIBILITES ; L'EQUATION DE PREVISION DES PERTES EN TERRE DE WISCHMEIER ET SMITH	289
XI.1. L'équation de prévision des pertes en terres de WISCHMEIER et SMITH	289
XI.2. Validité de la formule de prévision des pertes en terre sur les différents sols du transect, comparaison avec les données provenant d'autres régions	293

XI.2.1.	Concernant l'érodibilité des sols (facteur K)	293
XI.2.2.	Un essai de prise en compte des caractéristiques analytiques des sols des parcelles ; l'érodibilité calculée de WISCHMEIER, JOHNSON et CROSS	295
XI.2.3.	L'indice de couvert végétal	296
XI.2.4.	L'indice des pratiques anti-érosives "P"	298
CHAPITRE XII : CONCLUSION PARTIELLE ; LES CAUSES DE L'EROSION HYDRIQUE REVELEES PAR L'ANALYSE DES COMPORTEMENTS GLOBAUX		301
CINQUIEME PARTIE : SECOND NIVEAU D'ANALYSE - DES COMPORTEMENTS AUX MECANISMES, LES EFFETS DES CONTRAINTES CLIMATIQUES, LES REACTIONS DES SOLS		307
CHAPITRE XIII : ANALYSE DES PARAMETRES D'EVENEMENT ; LES CONTRAINTES D'ORIGINE CLIMATIQUE		309
XIII.1.	L'effet de l'énergie des averses sur la détachabilité des sols	309
XIII.1.1.	Les effets de la variation des énergies cinétiques des averses sur des parcelles labourées initialement sèches	312
XIII.1.2.	Les effets de la variation des énergies cinétiques des averses sur des parcelles labourées initialement humides	313
XIII.1.3.	Conclusion partielle	315
XIII.2.	L'interception de l'énergie des averses par la lame d'eau ruisselante	316
XIII.2.1.	Les causes de cette interception	316
XIII.2.2.	L'hétérogénéité du comportement hydrique des parcelles et sa quantification	321
XIII.2.3.	L'hétérogénéité topographique des parcelles et sa quantification	325
XIII.2.4.	Les effets de l'interception, distinction des composantes de l'érosion	327
XIII.2.5.	Conclusion partielle	333
XIII.3.	L'érosion liée au courant de ruissellement	334
XIII.3.1.	Les causes de l'abrasion du courant de ruissellement	335
XIII.3.1.1.	La vitesse du courant de ruissellement	335
XIII.3.1.2.	La capacité érosive du courant de ruissellement ; un compromis entre sa charge et sa vitesse	341
XIII.3.1.3.	La turbulence du courant de ruissellement, ses conséquences sur la détachabilité et le transport	345
XIII.3.2.	Les effets de l'abrasion due au courant de ruissellement ; érosion en nappe et érosion concentrée	349
XIII.3.2.1.	L'érosion en nappe	349
XIII.3.2.2.	L'érosion concentrée	350
XIII.3.3.	Conclusion partielle ; les érosions liées au ruissellement, extension au versant	357
XIII.4.	L'érosion liée aux conditions d'humectation des sols	357
XIII.4.1.	Les mesures humidimétriques ponctuelles, problèmes posés par leur intégration sur grandes parcelles	358
XIII.4.1.1.	Les méthodes de mesures humidimétriques ponctuelles	358
XIII.4.1.2.	L'utilisation des mesures humidimétriques ponctuelles	360
XIII.4.1.3.	L'intégration des caractéristiques hydriques sur parcelles	363
XIII.4.2.	Rôle de l'humectation préliminaire des sols sur l'érosion liée à l'énergie des pluies	364
XIII.4.3.	Rôle de l'humectation préliminaire des sols sur l'érosion liée au courant de ruissellement	368
XIII.4.4.	Rôle de l'humectation préliminaire sur les caractéristiques mécaniques des sols et sur leur détachabilité	372
XIII.4.5.	Conclusion partielle	375
CHAPITRE XIV : ANALYSE DES PARAMETRES DE SITUATION ; ROLE DES COMPOSANTES DE L'INTERFACE		382
XIV.1.	Les constituants de l'interface, leur rôle sur l'érodabilité des sols	377
XIV.1.1.	La composition granulométrique des sols, ses effets sur l'érodabilité	378
XIV.1.1.1.	Classes texturales et érosion	378
XIV.1.1.2.	Fractions granulométriques et détachabilité	380
XIV.1.2.	Interactions entre la texture et la pente topographique	382



XIV.1.2.1.	Influence de la pente topographique sur les sols sableux, meubles, labourés à plat	382
XIV.1.2.2.	Influence de la pente topographique sur les sols meubles sablo-argileux à argilo-sableux, labourés à plat	384
XIV.1.2.3.	Influence de la pente topographique sur les sols de différentes classes texturales, en leur état naturel	384
XIV.1.3.	Influence des épandages superficiels d'éléments grossiers	385
XIV.2.	Sélectivité de l'érosion hydrique	389
XIV.2.1.	Evolution des médianes granulométriques des sédiments avec le cumul des averse	390
XIV.2.2.	Le tri des fractions granulométriques par l'érosion hydrique	392
XIV.3.	Les interactions contraintes - constituants ; proposition de schémas explicatifs de l'érosion hydrique	397
XIV.3.1.	Evolution de la détachabilité liée à l'énergie des pluies (splash)	399
XIV.3.2.	Evolution de la détachabilité liée au courant de ruissellement	401
XIV.3.3.	Détachabilité résultant de la conjonction du splash et de l'abrasion due au courant de ruissellement	401
XIV.3.4.	Les intensités du ruissellement	401
XIV.3.5.	Les érosions résultantes	402
XIV.3.5.1.	Erosion des sols argilo-sableux kaolinitiques et smectitiques meubles	404
XIV.3.5.2.	Erosion des sols sableux des différents domaines pédoclimatiques	405
XIV.3.5.3.	Erosion des sols argilo-sableux kaolinitiques gravillonnaires	405

#### CHAPITRE XV : LES ORGANISATIONS DE LA SURFACE DU SOL ; GENESE, EVOLUTION, CONTRÔLE DE L'INFILTRATION

XV.1.	Méthode de prélèvement	409
XV.2.	Les redistributions plasmiqes et remaniements connexes	411
XV.2.1.	Sols naturels sableux des zones sèches	411
XV.2.2.	Sols naturels sableux des zones humides	418
XV.2.3.	Sols naturels, argilo-sableux, smectitiques, des zones sèches	426
XV.2.4.	Sols naturels argilo-sableux kaolinitiques des zones humides	434
XV.2.5.	Sols labourés, sableux, des zones sèches	438
XV.2.6.	Sols labourés, sableux, des zones humides	441
XV.2.7.	Sols labourés, argilo-sableux, des zones sèches	442
XV.2.8.	Sols labourés, argilo-sableux, des zones humides	444
XV.2.9.	Sols billonnés des zones sèches	446
XV.2.10.	Sols buttés des zones humides	453
XV.3.	Conclusion partielle : les différentes expressions micromorphologiques des concentrations plasmiqes et leur influence sur l'infiltrabilité	456

CONCLUSION GENERALE	467
---------------------	-----

#### BIBLIOGRAPHIE

#### LISTE DES FIGURES

#### LISTE DES TABLEAUX

#### TABLE DES MATIERES

#### ANNEXES



## A N N E X E S

- ANNEXE 1 : Listing des données brutes
- ANNEXE 2 : Tableaux hors texte
- ANNEXE 3 : Caractérisation des sols  
des différents sites
- ANNEXE 4 : Planches photographiques



## A N N E X E 1

## Listing des données brutes

## Légende

SQL : identification du site  
 COUPLE : identification du couple de parcelles  
 PARCELLE : identification du type de traitement d'une des parcelles du couple  
     • N ; état naturel  
     • L ; labour  
     • C ; autres façons culturales  
     • D ; parcelle droite  
     • G ; parcelle gauche  
 AVERSE : numéro de l'averse  
 TA : temps de ressuyage entre deux averses consécutives, en jours et fractions de jour  
 I : intensité de l'averse simulée, en mm/h  
 PU : hauteur de pluie utile, en mm  
 SPU : hauteurs cumulées des pluies utiles, en mm  
 PI : hauteur de la pluie d'imbibition, en mm  
 RX : intensité du ruissellement pendant son régime permanent, en mm/h  
 DR : hauteur de la lame d'eau de détention superficielle mesurée à l'issue de l'averse, en mm  
 L : hauteur de la lame d'eau ruisselée, en mm  
 SL : hauteurs cumulées des lames d'eau ruisselées, en mm  
 CS : premier maximum de turbidité, en g/l  
 CX : palier de la turbidité pendant le régime permanent du ruissellement, en g/l  
 CTU : turbidité dès l'arrêt de la pluie, en g/l  
 E : érosion par averse, en kg/ha  
 SE : érosions cumulées, en kg/ha  
 TY : typologie des turbidigrammes selon un code développé dans le chapitre VIII.1.2.  
 EV : érosivité de l'averse, en joules/m<sup>2</sup> x mm  
 SEV : érosivités cumulées des averses, en joules/m<sup>2</sup> x mm



## OURS1

SAS

17:17 WEDNESDAY, FEBRUARY 3, 1988

6

NUM=1 SITE=OURS1																				
SOL	COUPLE	PARCELLE	AVVERSE	TA	I	PU	SPU	PI	RX	DR	L	SL	CS	CX	CTU	E	SE	TY	EV	SEV
OUS1	1	NG	1	27.000	27.6	46.0	46.0	14.9	0.6	0.0	0.4	0.4	0.0	0.0	0.0	0	0	0	29	29
OUS1	1	LD	1	27.000	27.6	46.0	46.0	26.0	8.6	0.0	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0	0	0	29	29
OUS1	1	NG	2	0.340	33.4	33.4	79.4	4.1	5.2	0.1	3.1	3.5	4.8	2.7	1.9	127	127	0	23	52
OUS1	1	LD	2	0.340	33.4	33.4	79.4	1.8	16.0	0.2	11.9	12.9	2.5	1.5	2.1	414	414	1	23	52
OUS1	1	NG	3	0.964	35.2	52.8	132.2	3.9	8.5	0.1	7.5	11.0	2.5	1.5	2.1	197	324	3	38	91
OUS1	1	LD	3	0.964	35.2	52.8	132.2	2.0	21.0	0.3	27.0	39.9	4.2	3.0	3.6	981	1395	3	38	91
OUS1	1	NG	4	0.021	34.6	34.6	166.8	1.7	12.0	0.3	9.3	20.3	2.6	1.3	1.9	147	471	3	25	116
OUS1	1	LD	4	0.021	34.6	34.6	166.8	0.9	21.0	0.3	19.5	59.4	3.0	1.6	2.2	720	2115	0	25	116
OUS1	1	NG	5	1.514	30.3	45.4	212.2	2.8	11.5	0.3	13.1	33.4	11.6	3.4	1.9	250	720	1	29	144
OUS1	1	LD	5	1.514	30.3	45.4	212.2	2.1	19.7	0.3	26.4	85.8	6.7	1.3	2.2	1003	3118	1	29	144
OUS1	1	NG	6	2.483	29.7	44.5	256.7	3.9	10.7	0.3	10.4	43.8	3.1	1.3	2.2	204	925	1	27	172
OUS1	1	LD	6	2.483	29.7	44.5	256.7	2.0	20.0	0.4	26.3	112.1	3.1	2.2	2.9	621	3739	3	27	172
OUS1	1	NG	7	0.167	29.0	29.0	285.7	1.8	17.2	0.6	14.8	58.6	1.5	0.8	2.6	187	1112	3	18	190
OUS1	1	LD	7	0.167	29.0	29.0	285.7	1.0	20.3	0.4	20.0	132.1	3.5	2.8	2.6	554	4293	1	18	190
OUS1	1	NG	8	0.417	28.6	19.1	304.8	1.4	18.5	0.7	10.7	69.3	1.2	0.8	2.6	125	1237	1	13	202
OUS1	1	LD	8	0.417	28.6	19.1	304.8	0.8	22.2	0.3	14.1	146.2	1.2	0.8	2.6	365	4658	1	13	202
OUS1	1	NG	9	0.010	30.6	15.3	320.1	1.2	19.4	0.8	8.3	77.6	1.2	0.8	2.6	77	1314	0	10	212
OUS1	1	LD	9	0.010	30.6	15.3	320.1	0.8	22.7	0.3	10.5	156.7	1.2	0.8	2.6	232	4890	0	10	212
OUS1	2	NG	1	25.000	61.4	51.2	51.2	8.1	10.1	0.8	3.8	3.8	0.5	0.1	0.1	11	11	0	74	74
OUS1	2	LD	1	25.000	61.4	51.2	51.2	15.6	24.6	0.2	8.4	8.4	0.5	0.1	0.1	507	507	0	74	74
OUS1	2	NG	2	0.479	62.5	41.7	92.9	5.7	18.1	0.7	8.0	11.8	0.5	0.1	0.1	20	31	1	61	135
OUS1	2	LD	2	0.479	62.5	41.7	92.9	1.8	38.7	0.4	21.4	29.6	0.5	0.1	0.1	574	1081	0	61	135
OUS1	2	NG	3	0.992	62.5	41.7	134.6	6.7	17.2	0.7	7.9	19.7	18.5	4.9	13.6	22	53	5	61	197
OUS1	2	LD	3	0.992	62.5	41.7	134.6	2.2	42.2	0.5	23.1	52.9	14.5	9.7	9.1	2844	3925	4	61	197
OUS1	2	NG	4	0.021	62.1	31.0	165.6	5.0	22.0	1.0	8.3	28.0	0.5	0.1	0.1	19	72	0	45	242
OUS1	2	LD	4	0.021	62.1	31.0	165.6	1.2	44.2	0.5	19.8	72.7	14.5	9.7	9.1	2126	6051	1	45	242
OUS1	2	NG	5	1.435	62.5	41.7	209.3	6.7	20.5	1.0	9.4	37.4	0.5	0.1	0.1	219	91	4	61	303
OUS1	2	LD	5	1.435	62.5	41.7	209.3	2.2	45.5	0.5	24.4	97.1	15.7	13.1	12.6	3426	9477	1	61	303
OUS1	2	NG	6	0.042	62.2	31.1	238.4	5.6	26.8	1.3	10.2	47.6	0.4	0.2	0.2	27	118	2	45	348
OUS1	2	LD	6	0.042	62.2	31.1	238.4	1.2	48.2	0.5	21.0	118.1	0.4	0.2	0.2	2433	11910	0	45	348
OUS1	2	NG	7	2.219	61.4	61.4	299.8	8.5	18.2	0.9	13.3	60.9	15.8	10.6	0.1	15	133	0	89	437
OUS1	2	LD	7	2.219	61.4	61.4	299.8	2.1	46.9	0.6	39.6	157.7	11.9	9.2	0.2	4214	16124	0	89	437
OUS1	2	NG	8	0.167	60.0	30.0	329.8	6.1	29.5	1.5	10.9	71.9	0.2	0.2	0.2	25	158	0	43	481
OUS1	2	LD	8	0.167	60.0	30.0	329.8	1.2	49.2	0.6	21.4	179.1	15.5	10.8	12.2	2675	18799	3	43	481
OUS1	2	NG	9	0.010	60.1	15.0	344.8	3.5	30.9	1.6	5.1	76.9	13.9	10.6	0.1	7	165	0	21	502
OUS1	2	LD	9	0.010	60.1	15.0	344.8	0.9	50.1	0.6	10.6	189.9	15.8	10.6	0.1	1319	20118	1	21	502
OUS1	2	NG	10	6.735	63.7	58.4	403.2	5.9	25.5	0.9	15.9	92.8	0.7	0.3	0.3	59	224	1	88	589
OUS1	2	LD	10	6.735	63.7	58.4	403.2	2.0	45.6	0.7	34.5	224.4	0.7	0.3	0.3	2163	22281	0	88	589
OUS1	2	NG	11	0.010	62.9	26.2	429.4	2.5	30.4	1.1	9.6	102.4	0.7	0.1	0.1	34	258	2	38	627
OUS1	2	LD	11	0.010	62.9	26.2	429.4	1.1	46.7	0.7	16.5	240.9	10.3	0.7	0.1	929	23210	2	38	627
OUS1	2	NG	12	0.007	62.4	15.1	444.5	2.1	31.0	1.2	5.3	107.7	0.6	0.2	0.2	12	270	1	23	651
OUS1	2	LD	12	0.007	62.4	15.1	444.5	1.0	46.1	0.8	9.7	250.6	3.0	1.7	1.7	197	23407	1	23	651
OUS1	3	NG	1	31.000	87.5	43.7	43.7	12.2	27.0	0.8	7.8	7.8	2.4	1.0	1.0	171	171	5	68	68
OUS1	3	LD	1	31.000	87.5	43.7	43.7	18.2	45.5	0.5	7.9	7.9	2.4	1.0	1.0	735	735	0	68	68
OUS1	3	NG	2	0.464	93.1	38.7	82.4	4.3	52.5	2.1	17.8	25.6	2.7	1.0	1.0	225	396	2	65	133
OUS1	3	LD	2	0.464	93.1	38.7	82.4	1.7	70.3	0.8	27.2	35.1	17.5	4.9	4.9	1988	2723	2	65	133
OUS1	3	NG	3	1.512	89.3	44.6	127.0	5.8	42.9	2.0	19.1	44.7	2.3	1.1	1.1	297	693	2	72	205
OUS1	3	LD	3	1.512	89.3	44.6	127.0	3.9	69.6	0.9	30.5	65.6	6.4	5.0	5.0	1681	4404	1	72	205
OUS1	3	NG	4	0.021	92.2	30.7	157.7	3.1	59.5	2.7	16.3	61.0	2.0	0.5	0.5	215	908	2	50	255
OUS1	3	LD	4	0.021	92.2	30.7	157.7	1.1	74.1	1.0	23.9	89.8	1.1	0.5	0.5	1065	5469	0	50	255
OUS1	3	NG	5	0.952	89.0	37.0	194.7	4.6	58.5	2.4	18.8	79.8	6.2	4.6	4.6	1372	6841	1	60	315
OUS1	3	LD	5	0.952	89.0	37.0	194.7	1.3	72.4	0.9	27.9	117.4	6.2	4.6	4.6	1372	6841	1	60	315
OUS1	3	NG	6	0.042	91.0	22.8	217.5	2.9	66.3	2.8	12.9	92.7	1.1	0.5	0.5	76	1095	0	37	352
OUS1	3	LD	6	0.042	91.0	22.8	217.5	1.1	75.7	1.0	18.0	135.4	1.1	0.5	0.5	825	7666	0	37	352

SAS

17:17 WEDNESDAY, FEBRUARY 3, 1988

2

NUM=1 SITE=OURS1																				
SOL	COUPLE	PARCELLE	AVVERSE	TA	I	PU	SPU	PI	RX	DR	L	SL	CS	CX	CTU	E	SE	TY	EV	SEV
OUS1	3	NG	7	2.460	89.8	37.4	254.9	4.6	55.0	2.4	17.8	110.5	1.5	0.3	.	84	1179	1	61	413
OUS1	3	LD	7	2.460	89.8	37.4	254.9	1.6	76.6	1.0	29.6	165.0	5.6	2.1	2.7	893	8559	3	61	413
OUS1	3	NG	8	0.010	92.1	30.7	285.6	3.1	66.1	3.2	19.3	129.8	0.6	0.2	.	52	1231	1	61	464
OUS1	3	LD	8	0.010	92.1	30.7	285.6	1.0	80.4	1.1	26.2	191.2	4.6	2.4	3.8	893	9452	3	51	464
OUS1	3	NG	9	0.164	88.6	22.1	307.7	3.6	72.6	3.4	14.3	144.1	0.7	0.2	.	27	1258	1	35	500
OUS1	3	LD	9	0.164	88.6	22.1	307.7	1.5	74.5	1.2	18.4	209.6	0.7	0.2	.	571	10023	0	35	500
OUS1	4	NG	1	33.000	118.7	39.6	39.6	7.2	36.0	0.9	5.4	5.4	.	.	.	50	50	0	89	89
OUS1	4	LD	1	33.000	118.7	39.6	39.6	14.3	74.4	1.0	13.0	13.0	5.9	.	1.0	402	402	2	89	89
OUS1	4	NG	2	0.407	122.9	30.7	70.3	4.8	71.0	2.4	12.4	17.8	1.0	.	.	72	122	2	70	159
OUS1	4	LD	2	0.407	122.9	30.7	70.3	2.6	92.5	1.3	21.2	34.2	1.4	0.7	.	189	591	3	70	159
OUS1	4	NG	3	0.977	119.0	29.7	100.0	5.1	64.5	2.3	11.1	28.9	1.0	0.1	.	38	160	1	66	225
OUS1	4	LD	3	0.977	119.0	29.7	100.0	2.3	96.3	1.3	22.8	57.0	.	.	.	125	716	0	66	225
OUS1	4	NG	4	1.441	122.2	30.5	130.5	8.8	67.5	2.6	10.4	39.3	0.7	.	0.1	26	186	2	69	295
OUS1	4	LD	4	1.441	122.2	30.5	130.5	3.2	98.7	1.6	22.0	79.0	0.6	0.4	0.5	97	813	3	69	295
OUS1	4	NG	5	0.042	121.4	20.2	150.9	6.1	81.1	3.0	9.0	43.0	.	.	.	159	413	0	46	341
OUS1	4	LD	5	0.042	121.4	20.2	150.9	2.1	100.9	1.7	17.1	96.1	.	.	.	36	849	0	46	341
OUS1	4	NG	6	0.021	122.3	20.4	171.1	5.3	94.5	4.0	10.9	59.2	.	.	.	29	234	0	46	387
OUS1	4	LD	6	0.021	122.3	20.4	171.1	1.9	109.2	1.6	17.4	113.5	0.8	.	0.2	54	903	2	46	387
OUS1	4	NG	7	0.471	120.8	36.2	207.3	6.7	68.2	2.7	14.9	74.1	0.9	0.1	.	28	262	1	81	468
OUS1	4	LD	7	0.471	120.8	36.2	207.3	2.7	104.8	1.6	29.1	142.6	0.9	.	.	138	1041	2	81	468
OUS1	4	NG	8	0.008	121.0	20.2	227.5	5.1	78.0	3.2	8.5	82.6	0.6	.	0.1	12	274	2	47	514
OUS1	4	LD	8	0.008	121.0	20.2	227.5	1.7	107.8	1.7	15.5	158.1	0.5	0.3	.	65	1106	3	47	514
OUS1	4	NG	9	0.173	115.2	23.0	250.5	6.2	83.7	4.0	12.3	94.9	1.1	.	0.1	25	299	2	49	563
OUS1	4	LD	9	0.173	115.2	23.0	250.5	2.2	104.8	1.7	20.0	127.6	0.8	0.9	0.1	106	1274	0	49	563
OUS2	1	NG	1	42.000	35.1	46.8	46.8	4.8	20.6	2.0	30.6	30.6	2.5	1.7	3.3	557	557	1	32	32
OUS2	1	LD	1	42.000	35.1	46.8	46.8	11.6	26.6	1.7	19.2	19.2	6.9	.	3.2	1037	1037	2	32	32
OUS2	1	NG	2	0.444	33.0	30.2	77.0	4.0	29.8	2.5	22.9	53.5	4.5	2.3	.	518	1075	1	21	54
OUS2	1	LD	2	0.444	33.0	30.2	77.0	4.7	21.7	1.4	16.3	35.5	7.0	4.6	.	876	1913	1	21	54
OUS2	1	NG	3	0.948	32.8	16.4	93.4	3.5	28.8	2.5	10.9	64.4	4.0	.	2.4	269	1344	2	11	65
OUS2	1	LD	3	0.948	32.8	16.4	93.4	4.0	27.4	1.7	9.7	45.2	.	.	.	525	2438	0	11	65
OUS2	1	NG	4	0.023	31.9	10.6	104.0	0.5	28.5	2.6	8.5	72.9	.	.	.	225	1569	0	7	72
OUS2	1	LD	4	0.023	31.9	10.6	104.0	0.7	29.3	1.8	8.7	53.9	6.5	.	4.0	283	199	2	7	72
OUS2	1	NG	5	1.467	33.7	16.8	120.3	3.5	29.5	2.8	10.9	65.3	5.1	.	1.8	214	1783	2	12	84
OUS2	1	LD	5	1.467	33.7	16.8	120.3	3.0	29.5	1.7	11.4	65.3	5.0	.	3.8	506	3338	2	12	84
OUS2	1	NG	6	0.042	29.6	14.8	134.9	0.9	26.5	2.8	11.9	95.7	2.7	0.9	0.8	117	1900	1	9	93
OUS2	1	LD	6	0.042	29.6	14.8	134.9	0.7	27.1	1.9	13.1	78.4	4.6	3.1	3.1	423	3761	1	9	93
OUS2	1	NG	7	2.395	28.3	28.3	163.2	3.5	26.5	2.3	22.0	117.7	2.8	1.5	2.1	380	2280	3	17	109
OUS2	1	LD	7	2.395	28.3	28.3	163.2	4.0	25.6	1.5	20.4	98.8	5.1	4.1	.	721	4482	1	17	109
OUS2	1	NG	8	0.167	29.4	14.7	177.9	1.1	26.3	2.5	11.7	129.4	2.2	1.2	1.2	149	2429	1	9	118
OUS2	1	LD	8	0.167	29.4	14.7	177.9	0.8	26.6	1.5	12.3	111.1	4.2	.	2.8	375	4857	2	9	118
OUS2	1	NG	9	0.104	29.3	14.6	192.0	0.4	27.3	2.1	13.3	124.7	.	.	.	.	2707	.	3	117
OUS2	2	LD	9	0.104	29.3	14.6	192.0	0.2	28.3	1.4	13.3	124.7	.	.	.	.	5200	.	9	127
OUS2	2	NG	1	40.000	61.8	57.3	57.3	5.3	51.5	2.6	43.2	43.2	6.6	.	2.2	1418	1418	2	84	84
OUS2	2	LD	1	40.000	61.8	57.3	57.3	13.4	49.5	1.9	22.2	22.2	6.7	.	3.7	1101	1101	2	84	84
OUS2	2	NG	2	0.455	61.2	30.9	88.2	4.1	52.0	2.7	23.2	66.4	7.1	.	.	619	2037	2	45	129
OUS2	2	LD	2	0.455	61.2	30.9	88.2	3.6	57.5	2.4	22.3	44.5	9.5	4.1	4.2	1082	2183	1	45	129
OUS2	2	NG	3	1.008	60.6	30.3	118.5	3.8	52.5	2.4	23.0	89.4	6.3	1.5	.	440	2477	1	43	172
OUS2	2	LD	3	1.008	60.6	30.3	118.5	2.5	55.0	2.3	22.9	67.4	9.0	3.3	.	900	3083	1	43	172
OUS2	2	NG	4	0.022	60.4	25.2	143.7	1.2	52.5	3.0	22.5	111.9	5.0	3.7	1.7	43	3984	1	36	208
OUS2	2	LD	4	0.022	60.4	25.2	143.7	0.7	54.3	2.8	23.0	143.3	8.8	4.4	3.3	304	3941	1	36	208
OUS2	2	NG	5	1.442	64.1	32.0	175.7	3.3	56.0	2.0	28.0	137.9	4.3	0.9	.	343	3251	1	48	257
OUS2	2	LD	5	1.442	64.1	32.0	175.7	2.4	56.0	2.3	25.9	117.1	5.9	3.1	3.4	826	4740	3	48	257
OUS2	2	NG	6	0.042	60.1	25.0	200.7	1.5	54.5	3.1	22.0	159.3	3.5	1.0	1.0	275	3526	1	35	292
OUS2	2	LD	6	0.042	60.1	25.0	200.7	0.8	54.5	2.2	22.8	139.9	4.8	2.9	3.0	641	5381	1	35	292

SAS

17:17 WEDNESDAY, FEBRUARY 3, 1988

8

NUM=1 SITE=OURS1

SOL	COUPLE	PARCELLE	AVERSE	TA	I	PU	SPU	PI	RX	DR	L	SL	CS	CX	CTU	E	SE	TY	EV	SEV
OUS2	2	NG	7	2.392	59.4	29.7	230.4	3.8	51.0	2.8	23.1	183.0	5.8	1.9		488	4014	1	41	334
OUS2	2	LD	7	2.392	59.4	29.7	230.4	2.6	58.5		24.5	161.4	5.0	3.4	3.3	815	6196	1	41	334
OUS2	2	NG	8	0.167	59.9	24.9	255.3	1.6	55.0	2.8	22.0	205.0	4.3	1.6	2.9	427	4441	3	35	369
OUS2	2	LO	8	0.167	59.9	24.9	255.3	0.9	63.0	3.3	26.0	189.3	5.6	3.6	3.6	895	7091	1	35	369
OUS2	2	NG	9	0.010	63.3	21.1	276.4	0.5	56.0	3.0	19.0	224.0	3.1	1.1	1.2	249	4690	1	31	400
OUS2	2	LD	9	0.010	63.3	21.1	276.4	0.5	70.0	4.5	24.7	210.4	9.0		2.6	1203	8294	2	31	400
OUS2	2	NG	10	6.310	59.6	49.7	326.1	4.2	51.5	2.8	40.3	264.3	3.0	0.7	0.8	382	5072	1	70	470
OUS2	2	LD	10	6.310	59.6	49.7	326.1	3.2	51.0	2.1	38.6	249.0	4.0	2.7	3.0	1111	9405	3	70	470
OUS2	2	NG	11	0.010	58.2	9.7	335.8	0.7	52.5	3.2	8.9	273.2								
OUS2	2	LD	11	0.010	58.2	9.7	335.8	0.6	52.5	2.3	9.1	258.1								
OUS2	3	NG	1	46.000	94.3	31.4	31.4	4.0	77.9	4.2	20.5	20.5	13.4		5.0	1285	1285	2	54	54
OUS2	3	LD	1	46.000	94.3	31.4	31.4	7.7	74.9	2.3	9.5	9.5	22.9		13.0	1611	1611	2	54	54
OUS2	3	NG	2	0.410	94.1	31.3	62.7	1.9	81.0	1.3	24.4	41.6	9.9	3.4		954	2239	1	53	107
OUS2	3	LD	2	0.410	94.1	31.3	62.7	2.1	88.5	2.7	28.5	38.0	17.2		8.6	2589	4200	2	53	107
OUS2	3	NG	3	1.513	87.1	43.5	106.2	2.8	78.0	3.6	36.5	81.4	8.8			1232	3471	2	68	175
OUS2	3	LO	3	1.513	87.1	43.5	106.2	3.5	85.1	2.7	35.5	73.5	11.2	8.2	8.2	3601	7801	1	68	175
OUS2	3	NG	4	0.021	91.7	30.5	136.7	1.3	82.9	3.7	26.1	107.5	7.0	2.2	2.3	687	4158	1	51	226
OUS2	3	LD	4	0.021	91.7	30.5	136.7	0.8	91.5	2.8	29.5	103.0	10.5	5.6	5.6	1653	9454	1	51	226
OUS2	3	NG	5	0.930	87.4	43.7	180.4	2.9	77.4	3.9	36.9	144.4	4.5	1.9	5.0	2202	6360	3	69	295
OUS2	3	LD	5	0.930	87.4	43.7	180.4	2.5	89.8	2.8	39.5	142.5				2921	12375	0	69	295
OUS2	3	NG	6	0.042	96.7	32.2	212.6	1.7	79.5	3.8	26.1	170.5	6.4		1.0	449	6809	2	56	351
OUS2	3	LD	6	0.042	96.7	32.2	212.6	0.5	88.5	2.8	28.8	171.3	9.2	5.5	5.5	1678	14053	1	56	351
OUS2	3	NG	7	2.949	84.0	42.0	254.6	2.8	80.7	3.3	35.6	206.1	8.1	1.6	2.0	813	7622	3	64	415
OUS2	3	LD	7	2.949	84.0	42.0	254.6	2.8	84.0	2.5	38.1	209.4	11.2	5.6	5.6	2717	16770	1	64	415
OUS2	3	NG	8	0.167	89.7	22.4	277.0	1.5	84.0	3.6	19.4	225.5				400	8022		36	451
OUS2	3	LD	8	0.167	89.7	22.4	277.0	0.9	88.5	2.4	21.0	230.4				1300	18070		36	451
OUS2	3	NG	9	0.014	90.3	7.5	284.5	0.7	73.5	2.2	6.5	232.0			2.0	137	8159	0	12	464
OUS2	3	LD	9	0.014	90.3	7.5	284.5	0.7	90.0	1.3	7.0	237.4	9.0		5.5	372	18442	2	12	464
OUS2	4	NG	1	48.000	122.1	30.5	30.5	4.2	100.5	3.8	21.3	21.3	17.6		2.5	787	787	2	69	69
OUS2	4	LD	1	48.000	122.1	30.5	30.5	4.7	99.0	2.4	11.6	11.6	24.3		8.3	1067	1067	2	69	69
OUS2	4	NG	2	0.353	123.0	20.5	51.0	2.6	104.3	5.6	16.5	37.8	7.5		1.2	293	1080	2	47	117
OUS2	4	LD	2	0.353	123.0	20.5	51.0	2.4	111.8	3.1	15.0	26.6	11.6		5.4	1053	3020	2	47	117
OUS2	4	NG	3	0.979	120.3	30.0	81.0	3.5	106.5	5.5	25.8	63.6				467	1547	0	67	184
OUS2	4	LD	3	0.979	120.3	30.0	81.0	3.6	106.0	2.8	21.0	47.6	13.2		6.9	2149	5169	2	67	184
OUS2	4	NG	4	1.484	117.5	29.3	110.3	2.2	109.9	4.6	23.8	87.4	7.3	0.8		361	1808	3	64	248
OUS2	4	LD	4	1.484	117.5	29.3	110.3	3.8	105.5	3.0	21.3	68.9	13.1		7.3	1665	6834	2	64	248
OUS2	4	NG	5	0.042	117.8	19.6	129.9	2.2	114.8	5.3	17.5	107.9	6.9		0.7	230	2138	2	43	291
OUS2	4	LD	5	0.042	117.8	19.6	129.9	1.2	112.0	2.8	17.8	86.7	11.5		5.5	1177	8011	2	43	291
OUS2	4	NG	6	0.021	119.8	19.9	149.8	1.6	114.0	5.6	18.3	123.2				200	2338		44	336
OUS2	4	LO	6	0.021	119.8	19.9	149.8	1.0	114.8	3.3	18.7	105.4				1050	9061		44	336
OUS2	4	NG	7	2.927	113.6	28.3	178.1	3.7	105.5	4.3	22.7	145.9	9.5	1.0	1.1	292	2630	1	60	396
OUS2	4	LD	7	2.927	113.6	28.3	178.1	3.1	100.5	2.7	21.4	126.8	10.6	6.2	5.8	1385	10446	1	60	396
OUS2	4	NG	8	0.167	119.9	19.9	198.0	2.1	111.5	5.1	17.6	163.5				220	2850		44	440
OUS2	4	LD	8	0.167	119.9	19.9	198.0	1.5	107.0	2.9	17.4	144.2				1200	11646		44	440
OUS2	4	NG	9	0.014	125.9	23.0	221.0	0.8	112.0	5.8	20.0	183.5	4.5	0.7		192	3042	1	54	494
OUS2	4	LD	9	0.014	125.9	23.0	221.0	1.0	114.0	2.9	20.6	164.8	11.6	4.9		1010	12656	1	54	494
OUS3	1	NG	1	59.000	28.1	42.1	42.1	3.3	23.4	1.2	31.6	31.6	3.4	1.5	1.6	560	560	1	25	25
OUS3	1	LD	1	59.000	28.1	42.1	42.1	5.6	22.7	1.1	21.2	21.2				412	412	0	25	25
OUS3	1	NG	2	0.436	28.1	42.1	84.2	2.1	24.8	1.3	35.4	67.0				400	960		25	49
OUS3	1	LD	2	0.436	28.1	42.1	84.2	1.3	24.8	1.3	34.4	55.6				700	1112		25	49
OUS3	1	NG	3	0.948	29.1	43.6	127.8	1.9	26.3	2.2	37.2	104.2	2.4	0.8	0.7	384	1344	1	26	76
OUS3	1	LD	3	0.948	29.1	43.6	127.8	1.8	26.1	1.4	37.4	93.0	5.1	2.1	2.2	966	2078	1	26	76
OUS3	1	NG	4	0.021	28.8	28.8	156.6	0.5	26.3	1.7	26.5	130.7				200	1544		17	93
OUS3	1	LD	4	0.021	28.8	28.8	156.6	0.6	26.7	1.4	26.5	119.5				500	2578		17	93

SAS

17:17 WEDNESDAY, FEBRUARY 3, 1988

4

NUM=1 SITE=OURS1

SOL.	COUPLE	PARCELLE	AVERSE	TA	I	PU	SPU	PI	RX	DR	L	SL	CS	CX	CTU	E	SE	TY	EV	SEV
OUS3	1	NG	5	0.010	28.6	28.6	185.2	0.4	26.3	1.5	26.4	157.1	1.4	0.7	0.7	215	1759	1	17	110
OUS3	1	LD	5	0.010	28.6	28.6	185.2	0.3	26.3	1.5	26.6	146.1	2.5	1.6	1.5	505	3083	1	17	110
OUS3	1	NG	6	1.271	28.5	28.5	213.7	1.3	25.8	1.5	24.3	181.4	1.5	0.7	0.6	194	1953	1	17	127
OUS3	1	LD	6	1.271	28.5	28.5	213.7	1.2	26.7	1.4	24.9	171.0	4.0	1.9	1.9	562	3645	4	17	127
OUS3	1	NG	7	0.042	28.3	18.8	232.5	0.9	25.7	1.6	16.8	198.2	.	.	.	135	2088	.	11	138
OUS3	1	LD	7	0.042	28.3	18.8	232.5	0.8	27.4	1.4	18.0	189.0	.	.	.	365	4010	.	11	138
OUS3	1	NG	8	3.430	29.6	44.3	276.8	2.1	26.3	1.6	36.2	234.4	2.2	0.9	.	271	2359	1	27	165
OUS3	1	LD	8	3.430	29.6	44.3	276.8	2.1	25.9	1.5	36.5	225.5	4.1	1.6	1.7	625	4635	1	27	165
OUS3	1	NG	9	0.167	28.7	28.7	305.5	1.1	26.0	1.4	25.7	260.1	.	.	.	200	2559	.	17	182
OUS3	1	LD	9	0.167	28.7	28.7	305.5	0.9	28.0	1.4	28.4	253.9	.	.	.	540	5175	.	17	182
OUS3	2	NG	1	57.000	60.8	60.8	60.8	4.1	54.3	2.2	51.6	51.6	3.8	0.8	0.7	504	504	1	87	87
OUS3	2	LD	1	57.000	60.8	60.8	60.8	7.5	44.5	1.5	35.1	35.1	2.9	0.8	0.7	444	444	1	87	87
OUS3	2	NG	2	0.455	62.2	31.1	91.9	2.6	52.2	1.9	24.1	75.7	2.1	0.8	0.8	192	696	1	45	133
OUS3	2	LD	2	0.455	62.2	31.1	91.9	2.3	47.7	1.7	19.8	54.9	2.1	1.0	1.2	252	696	1	45	133
OUS3	2	NG	3	0.982	60.6	40.4	132.3	2.9	53.8	2.0	34.6	110.3	2.6	0.5	0.6	230	926	1	58	190
OUS3	2	LD	3	0.982	60.6	40.4	132.3	2.5	50.3	1.9	36.7	91.6	4.2	0.5	.	260	956	1	58	190
OUS3	2	NG	4	0.021	62.2	31.1	163.4	0.8	55.0	2.0	27.6	137.9	.	.	.	110	1036	.	46	236
OUS3	2	LD	4	0.021	62.2	31.1	163.4	1.5	52.6	2.0	26.1	117.7	.	.	.	145	1101	.	46	236
OUS3	2	NG	5	0.010	60.9	20.3	183.7	0.9	54.2	1.9	18.2	156.1	1.0	0.4	0.4	75	1111	1	29	265
OUS3	2	LD	5	0.010	60.9	20.3	183.7	0.8	53.0	2.4	17.9	135.6	1.2	0.5	0.5	99	1200	1	29	265
OUS3	2	NG	6	0.389	60.5	40.3	224.0	2.4	54.3	2.0	35.0	191.1	1.4	0.3	0.3	125	1236	1	57	322
OUS3	2	LD	6	0.389	60.5	40.3	224.0	2.4	54.0	2.1	35.0	170.5	1.6	0.4	0.3	190	1390	1	57	322
OUS3	2	NG	7	50.000	59.9	24.9	248.1	1.9	53.7	2.0	24.6	175.1	0.6	0.3	0.3	25	135	3	35	357
OUS3	2	LD	7	0.042	59.9	24.9	248.1	1.9	53.7	2.0	24.6	190.0	0.6	0.4	0.5	101	1491	1	35	357
OUS3	2	NG	8	1.439	59.5	59.5	308.4	3.0	47.5	2.2	49.9	265.0	1.3	0.3	0.2	196	1568	1	83	441
OUS3	2	LD	8	1.439	59.5	59.5	308.4	2.5	50.1	1.9	47.8	239.8	2.1	0.5	0.3	297	1788	1	83	441
OUS3	2	NG	9	0.167	59.4	29.7	338.1	1.4	52.1	1.5	24.8	289.8	0.7	0.2	0.2	65	1633	1	42	482
OUS3	2	LD	9	0.167	59.4	29.7	338.1	1.2	53.1	2.0	25.3	265.1	1.7	0.2	0.6	110	1898	3	42	482
OUS3	2	NG	10	0.007	60.8	30.4	368.5	0.7	51.2	2.0	27.2	317.0	.	.	.	50	1683	.	43	526
OUS3	2	LD	10	0.007	60.8	30.4	368.5	0.1	54.0	2.0	27.0	292.1	.	.	.	85	1983	.	43	526
OUS3	3	NG	1	61.000	123.8	30.9	30.9	4.7	105.5	3.5	20.6	20.6	6.5	1.4	1.3	403	403	1	71	71
OUS3	3	LD	1	61.000	123.8	30.9	30.9	5.0	105.0	2.3	17.1	17.1	7.1	.	5.2	957	957	2	71	71
OUS3	3	NG	2	0.479	117.2	29.3	60.2	3.4	108.0	4.0	23.0	44.2	4.7	2.1	2.0	540	431	6	134	135
OUS3	3	LD	2	0.479	117.2	29.3	60.2	4.2	108.0	4.0	22.6	42.2	4.2	1.1	6.5	1765	2722	4	134	135
OUS3	3	NG	3	1.994	121.7	30.4	90.5	3.3	109.1	3.9	24.8	69.0	4.8	1.7	1.6	435	1378	1	69	205
OUS3	3	LD	3	1.994	121.7	30.4	90.5	2.1	109.5	2.8	25.1	67.2	9.1	.	.	1071	3793	0	69	205
OUS3	3	NG	4	0.021	119.2	19.8	110.4	1.8	112.0	4.1	18.2	87.3	.	.	.	270	1648	.	44	249
OUS3	3	LD	4	0.021	119.2	19.8	110.4	1.5	114.5	2.9	18.5	85.7	.	.	.	700	4493	.	44	249
OUS3	3	NG	5	0.007	125.5	20.9	131.3	0.9	117.5	4.1	19.8	107.1	2.8	0.9	0.8	247	1895	1	49	297
OUS3	3	LD	5	0.007	125.5	20.9	131.3	1.2	117.5	3.1	19.2	104.9	.	.	.	752	5245	0	49	297
OUS3	3	NG	6	0.946	120.0	30.0	161.3	3.0	112.8	4.0	25.7	132.8	8.5	0.7	0.7	254	2149	1	67	365
OUS3	3	LD	6	0.946	120.0	30.0	161.3	2.1	110.7	2.8	20.4	131.3	7.5	.	4.4	1226	6471	2	67	365
OUS3	3	NG	7	0.163	121.9	20.3	181.6	2.2	119.3	4.2	18.5	151.3	2.5	0.8	0.8	166	2315	1	46	411
OUS3	3	LD	7	0.163	121.9	20.3	181.6	1.1	117.3	3.6	18.5	170.1	.	.	.	411	7367	0	46	411
OUS3	3	NG	8	2.320	120.3	30.1	115.8	3.6	115.8	3.6	25.9	92.8	1.8	0.5	0.7	149	2467	0	68	479
OUS3	3	LD	8	2.320	120.3	30.1	115.8	2.0	112.0	2.7	26.0	176.1	5.2	3.6	4.2	970	8337	3	68	479
OUS3	3	NG	9	0.042	121.4	20.2	231.9	2.1	117.5	4.2	15.5	192.7	.	.	.	135	2599	.	46	524
OUS3	3	LD	9	0.042	121.4	20.2	231.9	1.3	117.5	2.8	17.0	193.1	.	.	.	700	9037	.	46	524



## GALMI

SAS

17:17 WEDNESDAY, FEBRUARY 3, 1988

10

5

NUM=2 SITE=GALMI

SOL	COUPLE	PARCELLE	AVERSE	TA	I	PU	SPU	PI	RX	DR	L	SL	CS	CX	CTU	E	SE	TY	EV	SEV
GAS1	1	LG	1	99.999	60.6	60.6	60.6	9.5	43.5	1.1	28.7	28.7				686	686	0	87	87
GAS1	1	ND	1	99.999	60.6	60.6	60.6	7.4	46.2	0.7	37.0	37.0				71	71	0	87	87
GAS1	1	LG	2	0.389	32.8	54.6	115.2	1.9	25.2	1.0	30.7	59.4	7.5	1.1	2.5	603	1289	1	37	124
GAS1	1	ND	2	0.389	32.8	54.6	115.2	2.3	25.2	1.0	38.6	75.6	1.6	0.9	0.9	358	428	1	37	124
GAS1	1	LG	3	0.468	67.0	50.2	165.4	1.9	52.3	1.6	32.3	91.7	2.3	0.7	0.9	307	1596	1	79	203
GAS1	1	ND	3	0.468	67.0	50.2	165.4	2.2	59.3	1.9	41.5	117.1	2.7	0.7	4.0	1850	2278	4	79	203
GAS1	1	LG	4	2.455	57.8	29.0	194.4	1.5	48.5	1.5	17.3	109.0	3.3	1.0	0.7	228	1824	1	39	243
GAS1	1	ND	4	2.455	57.8	29.0	194.4	2.6	50.2	1.5	21.7	138.8	12.5	0.8	0.3	283	2561	1	39	243
GAS1	1	LG	5	0.480	84.9	35.4	229.8	1.5	76.5	1.5	28.8	131.8				760	2584	0	54	297
GAS1	1	ND	5	0.480	84.9	35.4	229.8	2.2	81.0	2.0	31.5	170.3	6.0		0.8	600	3161	2	54	297
GAS1	1	LG	6	0.042	57.7	14.4	244.2	1.0	47.8	1.5	11.0	142.8				118	2702	0	19	317
GAS1	1	ND	6	0.042	57.7	14.4	244.2	1.2	53.6	1.5	11.6	181.9	3.2		0.7	98	3259	2	19	317
GAS1	1	LG	7	0.908	58.9	39.3	283.5	2.0	48.8	1.4	30.8	173.6				393	3095	0	55	371
GAS1	1	ND	7	0.908	58.9	39.3	283.5	2.8	54.5	1.5	32.2	214.1	3.2		0.6	345	3440	2	55	371
GAS1	1	LG	8	0.187	60.1	30.0	313.5	1.2	51.8	1.6	24.6	198.2				174	3269	0	42	414
GAS1	1	ND	8	0.187	60.1	30.0	313.5	1.4	56.7	1.6	26.2	240.3	1.3	0.4	0.3	110	3550	1	42	414
GAS1	1	LG	9	0.333	105.6	26.4	339.9	1.3	92.3	2.3	23.4	221.6				258	3527	0	52	466
GAS1	1	ND	9	0.333	105.6	26.4	339.9	1.5	108.5	2.6	26.1	266.4	2.2	0.5	0.6	143	3693	1	52	466
GAS1	1	LG	10	0.045	104.8	26.2	366.1	1.0	95.0	2.1	23.4	245.0				301	3828	0	51	517
GAS1	1	ND	10	0.045	104.8	26.2	366.1	0.9	109.5	2.5	27.1	293.5				166	3859	0	51	517
GAS1	1	LG	11	2.410	111.9	18.7	394.0	1.8	100.8	2.2	15.0	260.0				167	3995	0	39	556
GAS1	1	ND	11	2.410	111.9	18.7	394.0	2.1	102.0	2.3	14.5	308.0	5.0	1.1	1.1	224	4083	1	39	556
GAS1	1	LG	12	0.021	89.8	19.9	413.9	1.2	81.5	2.5	16.7	276.7	1.8		0.3	135	4130	2	32	589
GAS1	1	ND	12	0.021	89.8	19.9	413.9	1.0	83.0	2.0	17.3	325.3	2.9	0.6	1.2	50	4133	3	32	589
GAS1	1	LG	13	0.021	62.6	20.8	434.7	1.1	51.2	1.7	16.0	292.7	3.2	0.7	0.6	126	4256	1	31	619
GAS1	1	ND	13	0.021	62.6	20.8	434.7	0.9	54.4	1.8	17.0	342.3	1.3	0.6	0.5	106	4238	1	31	619
GAS1	1	LG	14	0.021	29.8	19.8	454.5	0.9	22.5	1.0	13.9	306.6	1.7	0.5	0.3	84	4340	1	12	632
GAS1	1	ND	14	0.021	29.8	19.8	454.5	0.8	25.8	1.0	15.6	357.9		0.6	0.6	102	4340	6	12	632
GAS1	2	CG	1	99.999	59.2	59.2	59.2	14.7	0.5	0.1	0.5	0.5				0	0		83	83
GAS1	2	CD	1	99.999	59.2	59.2	59.2	19.9	2.0	0.2	1.2	1.2				4	4		83	83
GAS1	2	CG	2	0.521	29.2	58.4	117.6	3.3	0.8	0.3	1.7	2.2				0	0		35	118
GAS1	2	CD	2	0.521	29.2	58.4	117.6	4.7	2.2	0.1	3.0	4.2		0.4	0.7	15	19	6	35	118
GAS1	2	CG	3	1.554	54.0	54.0	171.6	2.8	11.3	0.4	6.0	8.2			1.8	87	87	5	69	187
GAS1	2	CD	3	1.554	54.0	54.0	171.6	3.2	13.5	0.4	6.7	10.9			1.5	84	103	5	69	187
GAS1	2	CG	4	0.169	57.8	28.9	200.5	2.6	17.3	0.5	5.9	14.1			2.2	100	187	5	39	226
GAS1	2	CD	4	0.169	57.8	28.9	200.5	2.2	23.5	1.1	6.6	17.5			2.0	119	222	5	39	226
GAS1	2	CG	5	0.208	94.5	39.4	239.9	2.2	33.2	1.3	10.9	25.0	3.3	2.4	2.4	283	470	1	67	294
GAS1	2	CD	5	0.208	94.5	39.4	239.9	2.1	49.5	2.1	14.4	31.9			11.0	931	1153	5	67	294
GAS1	2	CG	6	1.074	105.7	17.6	257.5	2.9	13.0	0.5	1.6	26.6	2.4	1.4	1.5	23	493	1	35	328
GAS1	2	CD	6	1.074	105.7	17.6	257.5	2.6	35.0	1.6	4.4	36.3				74	1227	0	35	328
GAS1	2	CG	7	0.021	84.8	18.8	276.3	1.7	21.5	0.5	3.1	29.7				68	561	0	29	357
GAS1	2	CD	7	0.021	84.8	18.8	276.3	1.3	50.7	2.0	7.9	44.2			6.5	195	1422	5	29	357
GAS1	2	CG	8	0.021	61.4	20.5	296.8	1.5	16.7	0.5	3.9	33.6	3.0	0.8	1.4	51	612	3	30	387
GAS1	2	CD	8	0.021	61.4	20.5	296.8	0.8	39.1	1.6	9.4	53.6				359	1781	0	30	387
GAS1	2	CG	9	0.404	62.8	41.9	338.7	2.6	24.6	1.3	11.4	45.0			6.4	246	858	5	62	449
GAS1	2	CD	9	0.404	62.8	41.9	338.7	2.0	38.2	1.5	20.5	74.1				774	2555	0	62	449
GAS1	2	CG	10	0.042	61.1	30.6	369.3	1.5	23.1	1.4	9.5	54.5		1.2	1.3	110	968	6	44	493
GAS1	2	CD	10	0.042	61.1	30.6	369.3	1.2	41.3	1.6	15.9	90.0	2.4		3.5	460	3015	3	44	493
GAS1	2	CG	11	0.952	61.6	41.1	410.4	2.9	33.8	1.6	13.6	68.1			1.8	212	1180	5	60	553
GAS1	2	CD	11	0.952	61.6	41.1	410.4	2.7	36.6	1.6	19.3	109.3			4.2	686	3701	5	60	553
GAS1	2	CG	12	0.468	116.7	19.1	429.9	2.3	40.2	1.2	5.3	73.4	2.1	1.1	1.0	53	1233	1	43	595
GAS1	2	CD	12	0.468	116.7	19.1	429.9	2.6	78.0	3.1	9.6	118.9	4.1	1.7	7.9	209	3910	3	43	595
GAS1	2	CG	13	0.021	91.0	20.2	450.1	1.6	31.5	1.6	6.8	80.2		1.3	1.2	70	1303	6	33	629
GAS1	2	CD	13	0.021	91.0	20.2	450.1	1.4	59.3	2.5	10.7	129.6			6.6	218	4128	5	33	629

SAS

17:17 WEDNESDAY, FEBRUARY 3, 1988

6

NUM=2 SITE=GALMI

SOL	COUPLE	PARCELLE	AVERSE	TA	I	PU	SPU	PI	RX	DR	L	SL	CS	CX	CTU	E	SE	TY	EV	SEV
GAS1	2	CG	14	0.021	63.0	21.0	471.1	1.5	24.3	1.5	6.8	87.0	.	0.9	1.1	57	1360	6	31	660
GAS1	2	CD	14	0.021	63.0	20.0	471.1	1.3	40.5	1.9	10.7	140.3	.	.	4.1	397	4525	5	31	660
GAS1	2	CG	15	0.021	30.4	20.3	491.4	1.3	8.3	0.3	3.8	90.8	.	0.6	0.7	27	1387	6	13	673
GAS1	2	CD	15	0.021	30.4	20.3	491.4	1.1	15.8	0.8	8.0	148.3	.	.	2.5	156	4681	5	13	673
GAS1	3	CG	1	99.999	62.1	56.9	56.9	13.7	1.1	0.1	0.4	0.4	.	.	.	0	0	.	83	83
GAS1	3	CD	1	99.999	62.1	56.9	56.9	9.7	27.0	0.8	12.0	12.0	.	.	8.7	789	789	5	83	83
GAS1	3	CG	2	0.528	28.3	56.5	113.4	3.9	2.2	0.2	0.8	1.2	.	.	.	0	0	.	33	117
GAS1	3	CD	2	0.528	28.3	56.5	113.4	3.8	18.0	1.3	22.9	34.9	.	.	3.9	751	1540	5	33	117
GAS1	3	CG	3	0.387	60.0	30.0	143.4	1.5	7.5	0.1	2.5	3.7	.	.	1.9	47	47	5	42	159
GAS1	3	CD	3	0.387	60.0	30.0	143.4	1.4	47.0	2.4	16.3	51.2	6.0	.	0.7	571	2111	2	42	159
GAS1	3	CG	4	0.467	88.1	36.7	180.1	2.2	23.5	1.2	6.4	10.1	4.4	2.1	6.9	268	315	3	58	217
GAS1	3	CD	4	0.467	88.1	36.7	180.1	2.4	75.0	3.1	22.9	74.1	.	.	.	837	2948	0	58	217
GAS1	3	CG	5	0.042	58.2	58.2	238.3	1.9	26.6	1.3	17.5	27.8	.	.	6.0	612	927	5	80	297
GAS1	3	CD	5	0.042	58.2	58.2	238.3	0.9	51.0	2.2	45.1	119.2	7.4	1.9	1.3	1037	3985	1	80	297
GAS1	3	CG	6	2.871	106.0	17.9	256.2	3.1	12.8	0.6	2.5	30.1	.	.	.	20	947	0	35	333
GAS1	3	CD	6										.	.	.					
GAS1	3	CG	7	0.024	79.3	17.6	273.8	1.5	18.8	0.2	1	31.2	.	.	.	47	994	5	25	358
GAS1	3	CD	7										.	.	2.3	19				
GAS1	3	CG	8	0.021	59.9	19.9	293.7	1.7	10.5	0.3	2.0	33.2	1.5	0.7	1.2	19	1013	3	28	386
GAS1	3	CD	8										.	.	.					
GAS1	3	CG	9	0.021	29.4	19.6	313.3	1.9	1.5	0.1	0.8	34.0	.	.	.	0	1013	.	12	398
GAS1	3	CD	9										.	.	.					
GAS1	3	CG	10	3.852	60.8	60.8	374.1	3.6	6.8	0.1	3.2	37.2	.	0.6	0.6	25	1038	6	87	486
GAS1	3	CD	10	6.847	60.8	60.8	299.1	15.2	31.9	0.9	14.0	133.2	8.3	.	4.4	842	4827	1	87	486
GAS1	3	CG	11	0.507	58.4	19.5	393.6	2.0	6.8	0.1	1.1	38.3	.	.	.	10	1048	0	27	512
GAS1	3	CD	11	0.507	58.4	19.5	318.6	1.9	38.5	1.6	8.4	141.6	5.0	.	4.1	324	5151	1	27	512
GAS1	3	CG	12	0.021	30.4	20.3	413.3	1.2	12.3	0.1	1.3	39.6	.	.	.	0	1048	.	13	525
GAS1	3	CD	12	0.011	30.4	20.3	388.9	1.0	19.3	0.3	10.3	151.1	.	.	.	40	535	.	13	525
GAS2	1	LD	1	99.999	59.6	59.6	59.6	11.1	42.5	0.7	30.1	30.1	6.5	.	3.9	1344	1344	2	84	84
GAS2	1	NG	1	99.999	59.6	59.6	59.6	6.4	40.5	1.4	30.9	30.9	.	.	.	953	953	0	84	84
GAS2	1	LD	2	0.346	29.8	34.7	94.3	1.0	23.5	0.5	24.7	54.8	4.0	3.0	2.9	755	2099	1	21	105
GAS2	1	NG	2	0.346	29.8	34.7	94.3	2.4	23.6	1.3	23.4	54.3	2.3	1.6	1.5	380	1333	1	21	105
GAS2	1	LD	3	0.501	60.1	60.1	154.4	2.8	47.0	0.9	43.2	98.0	8.1	.	2.3	1444	3543	2	85	190
GAS2	1	NG	3	0.501	60.1	60.1	154.4	3.1	51.0	2.0	46.6	100.9	3.5	1.6	1.7	786	2119	1	85	190
GAS2	1	LD	4	3.953	62.7	64.8	219.2	1.9	47.5	0.8	43.5	141.5	9.9	4.2	4.6	2164	5707	1	96	286
GAS2	1	NG	4	3.953	62.7	64.8	219.2	2.9	45.8	1.8	41.1	142.0	2.3	.	1.7	628	2747	2	96	286
GAS2	1	LD	5	0.165	62.1	31.0	250.2	1.0	49.5	0.9	24.4	165.9	11.0	4.1	4.1	1004	6711	1	45	332
GAS2	1	NG	5	0.165	62.1	31.0	250.2	2.2	49.2	2.4	22.6	164.4	.	1.2	0.9	251	2998	6	45	332
GAS2	1	LD	6	0.808	58.8	39.2	285.4	1.7	46.8	0.8	26.9	191.7	8.7	4.1	1.3	1385	8170	2	54	386
GAS2	1	NG	6	0.808	58.8	39.2	285.4	3.0	48.9	1.8	23.3	191.7	2.4	1.3	1.0	355	3355	1	54	386
GAS2	1	LD	7	0.042	80.9	30.5	319.9	0.8	48.9	0.9	24.2	216.9	8.0	3.1	3.7	777	8877	1	44	430
GAS2	1	NG	7	0.042	80.9	30.5	319.9	1.7	49.4	2.0	23.6	215.3	.	1.4	1.0	285	3639	6	44	430
GAS2	1	LD	8	0.337	119.3	19.9	339.8	1.2	110.2	1.5	17.5	234.4	.	.	.	894	9771	0	44	474
GAS2	1	NG	8	0.337	119.3	19.9	339.8	2.2	109.0	3.5	16.6	231.9	.	.	.	268	3907	0	44	474
GAS2	1	LD	9	0.021	89.7	19.9	359.7	1.2	77.5	1.1	16.3	250.7	.	.	.	701	10472	0	32	507
GAS2	1	NG	9	0.021	89.7	19.9	359.7	2.0	81.0	2.8	16.5	248.4	.	.	.	157	4064	0	32	507
GAS2	2	CG	1	99.999	59.4	59.4	59.4	11.2	40.5	1.9	25.7	25.7	9.1	.	6.4	2244	2244	2	73	73
GAS2	2	CD	1	99.999	59.4	59.4	59.4	13.5	45.9	1.9	23.4	23.4	7.4	2.8	.	803	803	1	73	73
GAS2	2	CG	2	0.400	31.4	52.3	111.7	1.5	25.9	1.6	37.3	63.0	8.1	3.7	2.6	1592	3836	1	39	112
GAS2	2	CD	2	0.400	31.4	52.3	111.7	1.5	25.9	1.6	37.3	63.0	6.1	2.0	.	764	1567	1	39	112
GAS2	2	CG	3	0.428	58.6	58.6	170.3	0.7	55.5	1.8	48.9	109.9	7.5	4.7	.	2191	6027	1	81	193
GAS2	2	CD	3	0.428	58.6	58.6	170.3	3.1	46.5	2.0	43.4	99.9	5.4	2.3	.	1204	2771	1	81	193
GAS2	2	CG	4										.	.	.					
GAS2	2	CD	4										.	.	.					
GAS2	2	CG	4	0.160	56.8	28.4	198.7	0.9	50.0	2.0	22.5	122.4	4.9	2.0	.	521	1938	1	42	355

SAS

17:17 WEDNESDAY, FEBRUARY 3, 1988

12  
7

NUM=2 SITE=GALMI																				
SOL	COUPLE	PARCELLE	AVERSE	TA	I	PU	SPU	PI	RX	DR	L	SL	CS	CX	CTU	E	SE	TY	EV	SEV
GAS2	2	CD	5	3.081	58.8	58.8	299.1	2.9	48.4	1.6	42.6	152.5	8.2	4.6		2017	8044	1	82	313
GAS2	2	CG	5	2.901	58.8	58.8	257.5	3.2	53.3	1.8	46.3	168.7	4.9	2.5	3.5	1268	4860	3	82	313
GAS2	2	CG	6																	
GAS2	2	CG	7	0.042	59.9	29.9	287.4	1.1	54.6	2.3	26.6	195.3	6.5	2.4	.	716	5576	1	42	355
GAS2	2	CG	7	0.342	95.9	39.9	327.3	1.6	87.3	2.7	33.9	229.2	7.3	2.9	2.6	1135	6711	4	69	424
GAS2	2	CG	8																	
GAS2	2	CG	8	1.458	118.6	29.7	357.0	2.3	105.9	2.6	23.8	253.0	11.3	4.5	4.9	1261	7972	1	66	490
GAS2	2	CG	9																	
GAS2	2	CG	9	0.042	120.8	30.2	387.2	1.4	110.4	2.9	26.3	279.3	7.9	4.9	6.4	1373	9345	3	68	558
GAS2	2	CG	10	2.865	62.0	62.0	291.1	7.5	46.4	1.4	27.9	180.4	7.2	.	3.5	1299	9343	2	91	649
GAS2	2	CG	10	0.923	62.0	62.0	449.2	3.3	54.2	1.5	49.2	328.5				2251	11596	0	91	649
GAS2	2	CG	11	0.415	122.1	20.4	311.5	1.6	105.0	2.8	14.3	194.7	12.1	5.8	6.1	838	10181	1	46	696
GAS2	2	CG	11	0.415	122.1	20.4	469.6	1.6	119.0	2.6	18.1	346.6	11.7	6.9	6.7	1257	12852	1	46	696
GAS2	2	CG	12	0.021	93.4	20.8	332.3	1.2	81.0	2.1	16.1	210.8	7.4	5.1	5.1	785	10966	1	35	731
GAS2	2	CG	12	0.021	93.4	20.8	490.4	1.2	91.2	2.3	19.3	365.9	8.8	5.5	6.3	1103	13955	1	35	731
GAS2	2	CG	13	0.021	60.7	20.2	352.5	1.0	50.8	1.5	15.3	226.1		5.0	4.9	721	11687	6	29	760
GAS2	2	CG	13	0.021	60.7	20.2	510.6	1.0	58.8	1.6	19.0	384.9	6.1	4.8	4.3	866	14821	1	29	760
GAS2	2	CG	14	0.021	32.0	21.3	373.8	0.7	26.0	0.9	15.7	241.8			5.7	761	12448	5	14	774
GAS2	2	CG	14	0.021	32.0	21.3	531.9	0.8	30.0	1.0	19.7	404.6		3.6	3.4	698	15519	6	14	774
GAS3	1	LO	1	99.999	62.6	62.6	62.6	7.8	45.0	0.7	33.5	33.5		7.7	7.5	2171	2171	6	92	92
GAS3	1	LD	2	0.462	31.5	57.8	120.4	1.9	23.8	0.4	40.8	74.3	16.5	3.9	3.7	1918	4089	1	38	130
GAS3	1	NG	2	0.462	31.5	57.8	120.4	3.9	17.9	0.8	27.2	48.3		3.2	2.7	726	2735	6	38	130
GAS3	1	LO	3	0.413	62.9	62.9	183.3	0.9	55.7	0.8	52.9	127.2	5.6	4.4	5.2	2459	6548	1	93	223
GAS3	1	LD	3	0.413	62.9	62.9	183.3	1.1	45.6	1.7	41.7	90.0	6.7	2.8	2.7	1237	3972	1	93	223
GAS3	1	NG	4	2.500	60.4	60.4	243.7	1.5	51.5	0.5	47.0	174.2	5.6	2.5	2.2	1198	7746	1	86	309
GAS3	1	NG	4	2.500	60.4	60.4	243.7	2.9	40.5	1.4	29.6	119.6	9.6	2.6	2.9	901	4873	1	86	309
GAS3	1	LO	5	0.058	61.9	30.9	274.6	0.9	53.4	0.7	25.8	200.0			2.9	694	8440	5	45	354
GAS3	1	NG	5	0.058	61.9	30.9	274.6	1.5	42.8	1.6	18.7	138.3				376	5249	0	45	354
GAS3	1	LO	6	0.344	93.9	39.1	313.7	0.9	83.3	0.9	33.8	233.8	4.7	2.5	4.5	1056	9496	3	66	421
GAS3	1	NG	6	0.344	93.9	39.1	313.7	1.0	66.8	2.2	24.9	163.2	19.1	2.8	2.7	832	6081	1	66	421
GAS3	1	LO	7	0.506	60.8	60.8	374.5	1.4	53.1	0.8	50.6	284.4				1211	10708	0	87	508
GAS3	1	NG	7	0.506	60.8	60.8	374.5	2.6	44.1	1.6	38.1	204.1	6.9	2.1	2.1	894	6975	1	87	508
GAS3	1	LO	8	0.162	57.7	28.8	403.3	1.0	54.3	1.2	27.3	311.7		3.1	3.0	837	11545	6	78	586
GAS3	1	NG	8	0.162	57.7	28.8	403.3	1.0	45.0	1.9	19.9	224.4	3.6		1.7	396	7371	2	78	586
GAS3	1	LO	9	0.241	116.4	29.1	432.4	1.0	109.0	1.2	26.7	338.4			5.8	1208	12753	5	63	649
GAS3	1	NG	9	0.241	116.4	29.1	432.4	1.1	90.0	2.4	20.3	245.2	6.7	2.4	2.4	553	7923	1	63	649
GAS3	1	LO	10	0.042	121.3	30.3	462.7	1.0	104.0	2.2	27.3	365.7			5.6	1340	14093	5	69	718
GAS3	1	NG	10	0.042	121.3	30.3	462.7	1.0	98.3	3.1	22.6	268.4	4.0	1.7	1.7	403	8326	1	69	718
GAS3	1	LO	11	2.414	117.3	19.6	482.3	1.9	95.3	1.1	14.3	380.0	4.0		2.4	450	14543	2	43	761
GAS3	1	NG	11	2.414	117.3	19.6	482.3	2.8	78.0	2.0	9.2	278.1	5.8	2.1	1.8	187	8513	1	43	761
GAS3	1	LD	12	0.021	90.7	20.2	502.5	1.2	69.0	0.9	13.6	393.6				430	14973	0	33	794
GAS3	1	NG	12	0.021	90.7	20.2	502.5	1.4	72.5	2.0	13.8	292.3				414	8927	0	33	794
GAS3	1	LO	13	0.021	59.5	19.8	522.3	0.9	45.1	0.6	13.7	407.3	4.6	3.0	2.9	621	15594	1	28	822
GAS3	1	NG	13	0.021	59.5	19.8	522.3	1.3	41.3	1.4	11.7	304.4	3.1	1.9	1.8	234	9161	1	28	822
GAS3	1	LO	14	0.021	38.4	25.6	547.9	0.7	23.3	0.5	14.5	421.8	4.8	2.8	2.9	478	16072	1	20	842
GAS3	2	CO	1	99.999	60.9	60.9	60.9	15.0	44.6	1.5	23.2	23.2		1.6	1.7	202	9363	6	87	87
GAS3	2	CO	1	99.999	60.9	60.9	60.9	11.4	39.5	1.5	23.1	23.1				1282	1282	0	87	87
GAS3	2	CO	2	0.448	29.3	51.3	112.2	2.3	24.2	1.3	36.6	59.8	4.1	2.6	3.1	1061	3291	1	34	121
GAS3	2	CO	2	0.448	29.3	51.3	112.2	2.2	21.0	1.2	29.8	52.9		3.8	4.3	1115	2397	6	34	121
GAS3	2	CO	3	0.420	59.1	29.6	141.8	2.2	43.9	2.0	17.6	77.4				1407	4698	0	41	163
GAS3	2	CO	3	0.420	59.1	29.6	141.8	2.1	49.7	2.5	20.3	73.2	9.7	3.1	4.9	753	3150	3	41	163

SAS

17:17 WEDNESDAY, FEBRUARY 3, 1988

13  
8

NUM=2 SITE=GALMI																					
SOL	COUPLE	PARCELLE	AVERSE	TA	I	PU	SPU	PI	RX	DR	L	SL	CS	CX	CTU	E	SE	TY	EV	SEV	
GAS3	2	CD	4	0.521	88.9	37.0	178.8	0.6	84.6	2.4	31.1	108.5				1328	6026	0	59	222	
GAS3	2	CG	4	0.521	88.9	37.0	178.8	1.4	70.7	3.0	26.3	99.5	6.6		2.6	831	3981	2	59	222	
GAS3	2	CG	5																		
GAS3	2	CG	5	2.394	118.4	19.7	198.5	3.0	79.5	3.1	11.1	110.5	15.2	3.5	5.8	395	4376	3	43	266	
GAS3	2	CG	6																		
GAS3	2	CG	6	0.021	87.9	19.5	218.0	1.2	69.0	3.5	13.3	123.9	5.2		3.8	503	4878	2	31	297	
GAS3	2	CG	7																		
GAS3	2	CG	7	0.021	61.6	20.5	238.5	0.9	47.1	2.3	14.4	138.3	6.7	3.6	5.2	553	5432	3	30	326	
GAS3	2	CG	8	2.487	27.2	18.1	196.9	5.1	13.2	0.9	4.9	113.4	22.8	3.0	3.3	184	6210	1	10	337	
GAS3	2	CG	8	0.021	27.2	18.1	256.6	0.7	18.6	1.1	11.1	149.4	5.0	3.5	3.6	375	5807	1	10	337	
GAS3	2	CG	9	4.776	58.0	58.0	254.9	19.1	42.1	1.1	22.9	136.3				2145	8355	0	79	416	
GAS3	2	CG	9	4.776	58.0	58.0	314.6	2.6	42.7	1.9	37.1	186.5	18.0	3.6	3.4	1411	7218	1	79	416	
GAS3	2	CG	10	0.422	108.7	18.1	273.0	2.2	103.2	1.9	13.3	149.6				1321	9676	0	37	453	
GAS3	2	CG	10	0.422	108.7	18.1	332.7	1.5	89.6	3.4	12.9	199.4				535	7753	0	37	453	
GAS3	2	CG	11	0.021	85.2	18.1	291.9	0.9	80.9	1.7	16.6	166.2				990	10666	0	29	482	
GAS3	2	CG	11	0.021	85.2	18.9	391.9	0.9	70.1	2.7	14.5	213.9				851	9561	0	29	482	
GAS3	2	CG	12	0.021	62.7	20.9	312.8	1.2	50.9	1.1	15.1	181.3				1141	11807	0	31	513	
GAS3	2	CG	12	0.021	62.7	20.9	372.5	0.8	48.2	2.5	15.6	229.5				447	8762	0	31	513	
GAS3	2	CG	13	0.021	31.3	20.9	333.7	1.0	26.4	0.8	16.2	197.5		5.6	5.6	821	12628	6	14	526	
GAS3	2	CG	13	0.021	31.3	20.9	393.4	0.6	24.9	1.2	15.3	244.8	4.3	2.9	3.0	459	9221	1	14	526	
GAS3	3	CG	1	99.999	60.5	61.5	61.5	11.5	37.5	0.7	24.8	24.8	9.3	4.5	3.1	1167	1167	1	88	88	
GAS3	3	CG	1	99.999	60.5	61.5	61.5	11.2	42.0	0.7	27.6	27.6				7.8	1483	1483	5	88	88
GAS3	3	CG	2	0.457	29.8	49.7	111.2	2.2	24.4	0.6	36.5	61.3	3.5	2.2	2.1	809	1976	1	31	118	
GAS3	3	CG	2	0.457	19.2	45.7	181.7	2.2	18.7	0.8	47.9	70.8	5.5			2.0	1168	2705	3	31	118
GAS3	3	CG	3	1.329	64.0	64.0	175.2	3.7	48.0	0.8	47.9	103.7	9.5	3.2	11.5	2170	4166	9	26	426	
GAS3	3	CG	3	1.329	64.0	64.0	175.2	3.7	45.4	0.7	40.4	95.9				5.8	1865	4566	5	26	426
GAS3	3	CG	4	0.163	61.9	31.0	206.2	1.8	50.9	0.9	23.8	127.5	5.2	3.8	5.1	955	5101	3	45	260	
GAS3	3	CG	4	0.163	61.9	31.0	206.2	1.8	46.5	0.8	21.7	117.6	7.3	6.4	6.4	1343	5909	1	45	260	
GAS3	3	CG	5	0.306	90.6	37.8	244.0	1.6	90.3	1.2	36.4	163.9				2314	7415	0	62	322	
GAS3	3	CG	5	0.306	90.6	37.8	244.0	2.0	69.0	1.1	27.4	145.0	9.7	7.1	9.9	2088	7997	3	62	322	
GAS3	3	CG	6																		
GAS3	3	CG	6	1.482	112.7	18.8	262.8	2.8	89.0	1.1	12.3	157.3				9.5	814	8811	5	39	362
GAS3	3	CG	7	0.018	98.3	21.8	284.6	1.5	80.3	1.1	17.2	174.5				1116	9927	0	39	400	
GAS3	3	CG	8																		
GAS3	3	CG	8	0.035	57.6	19.2	303.8	1.4	46.5	0.8	14.5	189.0				1221	11148	0	26	426	
GAS3	3	CG	9																		
GAS3	3	CG	9	0.021	28.9	19.3	323.1	0.9	23.1	0.5	14.4	203.4				7.4	4028	15176	5	12	438
GAS3	3	CG	10	1.946	55.8	55.8	299.8	0.8	47.9	0.8	43.6	207.5	8.4	6.3	5.2	2895	10310	1	73		
GAS3	3	CG	10	0.333	55.8	55.8	378.9	1.6	45.0	0.8	47.0	250.4	10.1	7.2	7.9	8636	23812	1	73	511	
GAS3	3	CG	11	4.937	59.2	44.4	344.2	12.2	35.5	0.6	11.8	219.5	11.8	6.8	6.4	1451	11761	1	74		
GAS3	3	CG	11	4.937	59.2	44.4	423.3	12.2	46.3	0.8	30.8	212.0				4.4	2465	26277	1	74	585
GAS3	3	CG	12	0.021	29.1	19.4	363.6	2.0	18.8	0.5	8.9	228.2				12.0	12064		0		
GAS3	3	CG	12	0.021	29.1	19.4	442.7	1.0	22.3	0.5	13.7	294.7		1.5	1.6	1011	27288	6	12	597	
GAS3	3	CG	13	0.021	90.2	20.0	383.6	1.3	80.8	1.1	16.2	244.4	7.3	4.6	5.2	744	12808	1	33		
GAS3	3	CG	13	0.021	90.2	20.0	462.7	1.4	79.5	1.1	17.1	311.8			5.7	2031	29319	5	33	630	
GAS3	3	CG	14	0.021	122.5	20.4	404.0		114.4	1.9	18.2	262.6				988	13796	0	47		
GAS3	3	CG	14	0.021	122.5	20.4	483.1	1.4	106.5	1.3	17.3	329.1			11.2	2681	32000	5	47	678	
GAS4	1	LD	1	99.999	61.7	61.7	61.7	11.6	39.0	0.8	29.9	29.9	11.9			4.5	1502	1502	2	90	90
GAS4	1	NG	1	99.999	61.7	61.7	61.7	10.6	39.1	1.0	24.6	24.6	5.5			2.1	732	732	2	90	90
GAS4	1	LD	2	1.987	58.9	58.9	120.6	2.1	46.7	0.8	5.5	172.7	27.7	5.9	6.1	2670	4172	1	82	72	
GAS4	1	NG	2	1.987	58.9	58.9	120.6	2.1	46.3	1.2	4.1	66.0	27.7	2.4	2.3	1190	1922	1	82	172	
GAS4	1	LD	3	0.045	61.0	30.5	151.1	0.6	49.8	0.9	23.3	93.7	6.7	4.0	4.0	1037	5209	1	44	216	
GAS4	1	NG	3	0.045	61.0	30.5	151.1	0.7	50.8	1.4	23.1	89.1				672	2594	0	44	216	

SAS

17:17 WEDNESDAY, FEBRUARY 3, 1988

14

NUM=2 SITE=GALMI

SOL	COUPLE	PARCELLE	AVERSE	TA	I	PU	SPU	PI	RX	DR	L	SL	CS	CX	CTU	E	SE	TY	EV	SEV
GAS4	1	LD	4	0.319	64.4	37.6	188.7	0.9	51.8	1.0	29.7	123.4	5.2	3.2	3.6	946	6155	1	57	273
GAS4	1	NG	4	0.319	64.4	37.6	188.7	1.4	52.1	1.5	28.9	118.0	4.1	1.5	1.5	435	3029	1	57	273
GAS4	1	LD	5	2.451	91.5	38.1	226.8	2.5	69.4	1.2	25.4	148.8	25.1		8.3	2608	8763	2	63	336
GAS4	1	NG	5	2.451	91.5	38.1	226.8	2.8	81.2	1.9	28.5	146.5	11.0	3.2	3.4	917	3946	1	63	336
GAS4	1	LD	6	0.448	41.0	1.4	228.2	0.6	13.0	0.4	0.5	149.3								
GAS4	1	NG	6	0.448	41.0	1.4	228.2	1.0	6.0	0.2	0.2	146.7								
GAS4	1	LD	7	0.012	121.1	24.2	252.4	1.1	99.5	2.3	20.1	169.4				2120	10883	0	55	392
GAS4	1	NG	7	0.012	121.1	24.2	252.4	1.2	107.5	2.9	21.6	168.3	4.3	1.7	1.7	372	4318	1	55	392
GAS4	1	LD	8	0.024	88.3	22.1	274.5	0.8	73.5	1.2	17.6	187.0	13.9	7.3	6.5	1241	12124	1	35	427
GAS4	1	NG	8	0.024	88.3	22.1	274.5	1.0	77.3	1.8	18.3	186.6	7.4	2.5	2.9	512	4830	1	35	427
GAS4	1	LD	9	0.028	63.1	27.6	302.1	0.9	44.0	0.7	18.3	205.3	9.9	4.2	5.9	822	12946	3	41	468
GAS4	1	NG	9	0.028	63.1	27.6	302.1	1.1	49.5	1.7	21.1	207.7	10.9	1.9	4.2	584	5414	3	41	468
GAS4	2	CG	1	99.999	60.6	60.6	60.6	4.1	33.7	2.0	12.4	12.4				747	747	0	87	87
GAS4	2	CG	1	99.999	60.6	60.6	60.6	10.3	39.6	1.9	19.9	19.9	16.0		3.0	1512	1512	2	87	87
GAS4	2	CG	2	0.970	58.6	58.6	119.2	3.8	45.0	3.3	30.1	42.5	8.3	3.9	5.0	1292	2039	1	57	144
GAS4	2	CG	2	0.970	58.6	58.6	119.2	2.8	51.0	2.4	38.1	58.0	13.3	3.6	3.0	1545	3057	1	57	144
GAS4	2	CG	3	0.167	61.7	41.1	160.3	0.9	45.5	3.4	23.2	65.7	6.4		1.8	630	2669	2	69	213
GAS4	2	CG	3																	
GAS4	2	CG	4	1.744	62.4	62.4	222.7	3.4	48.6	3.0	32.6	98.3	7.7	2.1	2.2	948	3617	1	92	304
GAS4	2	CG	4	1.938	62.4	62.4	181.6	1.9	51.6	2.5	41.4	79.0	19.1	3.0	2.4	1253	4310	1	92	304
GAS4	2	CG	5	0.039	61.5	30.8	253.5	0.8	48.8	1.7	22.0	120.3	7.0	3.0	5.1	758	4375	3	45	349
GAS4	2	CG	6	0.380	87.3	36.4	289.9	2.4	78.8	4.3	26.8	147.1	7.1	2.3	1.8	679	5054	1	57	407
GAS4	2	CG	6																	
GAS4	2	CG	7	1.503	104.1	26.0	315.9	3.3	83.0	2.5	11.6	158.7	11.1		3.6	511	5565	2	51	457
GAS4	2	CG	7																	
GAS4	2	CG	8	0.042	110.1	13.8	329.7	1.3	71.3	0.4	7.9	166.6	8.6		3.0	222	5787	2	28	486
GAS4	2	CG	8																	
GAS4	2	CG	9	2.936	59.6	59.6	389.3	4.3	44.3	2.3	34.6	201.2	4.3	1.3	1.5	561	6348	1	84	569
GAS4	2	CG	9	4.955	59.6	59.6	241.2	4.2	43.8	2.3	33.4	115.2	5.7	3.7	3.9	2802	7112	1	84	569
GAS4	2	CG	10	0.389	110.9	22.2	411.5	1.8	84.0	1.7	13.5	214.7	11.6		2.4	515	6863	2	46	615
GAS4	2	CG	10	0.389	110.9	22.2	263.4	0.9	93.0	3.4	16.4	121.0	23.1		5.8	1031	8143	2	46	615
GAS4	2	CG	11	0.028	90.7	22.7	434.2	0.7	69.6	3.3	16.1	230.8	5.2	2.0	2.0	337	7200	1	37	653
GAS4	2	CG	11	0.028	90.7	22.7	286.1	0.6	68.8	2.5	16.2	127.5	7.4	4.4	5.2	579	8722	3	37	653
GAS4	2	CG	12	0.030	63.0	31.5	465.7	0.8	44.8	2.1	21.8	252.6	4.7	1.8	2.0	381	7581	1	47	700
GAS4	2	CG	12	0.030	63.0	31.5	317.6	0.7	49.1	1.7	22.4	136.6	14.2	3.4	4.1	860	9582	1	47	700
GAS4	2	CG	13	0.029	33.5	25.1	490.8	0.4	21.0	1.1	15.0	267.6			2.8	346	7927	5	17	717
GAS4	2	CG	13	0.029	33.5	25.1	342.7	0.3	22.9	0.9	16.6	145.1	14.9	4.1	5.0	606	10188	1	17	717

N= 254

## POUNI

NUM=3 SITE=POUNI

SOL	COUPLE	PARCELLE	AVERSE	TA	I	PU	SPU	PI	RX	DR	L	SL	CS	CX	CTU	E	SE	TY	EV	SEV
POS1	1	NG	1	99.999	59.4	59.4	59.4	5.4	43.0	1.6	37.2	37.2	1.8	0.4	0.4	200	200	1	83	83
POS1	1	LD	1	99.999	59.4	59.4	59.4	14.8	2.5	0.0	1.1	1.1			2.4	24	24	5	83	83
POS1	1	NG	2	0.944	59.4	9.9	69.3	4.2	47.0	1.5	3.6	40.8	1.3		0.5	19	219	2	14	97
POS1	1	LD	2	0.944	59.4	9.9	69.3	3.9	3.5	0.1	0.3	1.4	3.4			10	34	2	14	97
POS1	1	NG	3	0.014	58.9	9.8	79.1	1.8	51.0	1.6	7.1	47.9				20	239		14	111
POS1	1	LD	3	0.014	58.9	9.8	79.1	1.9	4.5	0.1	0.6	2.0				61	95		14	111
POS1	1	NG	4	0.014	59.3	9.9	89.0	1.3	51.0	1.6	7.1	55.0				21	260		14	125
POS1	1	LD	4	0.014	59.3	9.9	89.0	1.7	5.7	0.1	0.8	2.8				62	157		14	125

SAS

17:17 WEDNESDAY, FEBRUARY 3, 1988

15

NUM=3 SITE=POUNI

SOL	COUPLE	PARCELLE	AVERSE	TA	I	PU	SPU	PI	RX	OR	L	SL	CS	CX	CTU	E	SE	TY	EV	SEV
POS1	1	NG	5	0.014	59.2	9.9	98.9	1.2	57.0	1.9	8.2	63.2	.	.	.	21	281	.	14	139
POS1	1	LD	5	0.014	59.2	9.9	98.9	1.6	7.2	0.1	1.0	3.8	.	.	.	62	219	.	14	139
POS1	1	NG	6	0.014	58.1	9.7	108.6	1.3	47.0	2.1	7.7	70.9	.	.	.	20	301	.	13	152
POS1	1	LD	6	0.014	58.1	9.7	108.6	1.5	9.5	0.2	1.3	5.1	.	.	.	60	279	.	13	152
POS1	1	NG	7	0.014	57.9	9.7	118.3	1.3	57.0	1.9	8.1	79.0	.	.	.	20	321	.	13	165
POS1	1	LD	7	0.014	57.9	9.7	118.3	1.5	12.7	0.2	1.7	6.8	.	.	.	59	338	.	13	165
POS1	1	NG	8	0.014	56.7	9.5	127.8	1.2	52.0	2.0	8.0	87.0	.	.	.	19	340	.	13	178
POS1	1	LD	8	0.014	56.7	9.5	127.8	1.4	15.2	0.3	2.1	8.9	.	.	.	57	395	.	13	178
POS1	1	NG	9	0.014	56.7	9.5	137.3	1.3	55.5	1.8	7.2	94.2	0.6	0.3	0.3	17	357	1	13	190
POS1	1	LD	9	0.014	56.7	9.5	137.3	1.4	18.0	0.4	2.5	11.4	3.7	.	2.5	62	457	2	13	190
POS1	1	NG	10	0.014	57.3	9.5	146.8	1.4	53.5	1.9	8.3	102.5	.	.	.	19	376	.	13	203
POS1	1	LD	10	0.014	57.3	9.5	146.8	1.5	21.0	0.5	2.9	14.3	.	.	.	58	515	.	13	203
POS1	1	NG	11	0.130	57.4	9.6	156.4	2.9	56.0	2.3	6.9	109.4	.	.	.	19	395	.	13	216
POS1	1	LD	11	0.130	57.4	9.6	156.4	2.3	22.0	0.6	2.8	17.1	.	.	.	58	573	.	13	216
POS1	1	NG	12	0.035	58.8	9.8	166.2	2.2	57.5	2.2	7.7	117.1	.	.	.	20	415	.	14	230
POS1	1	LD	12	0.035	58.8	9.8	166.2	1.9	25.5	0.6	3.4	20.5	.	.	.	61	634	.	14	230
POS1	1	NG	13	0.028	59.6	9.9	176.1	1.8	56.5	2.3	7.9	125.0	.	.	.	21	436	.	14	244
POS1	1	LD	13	0.028	59.6	9.9	176.1	1.7	27.5	0.6	3.9	24.4	.	.	.	62	696	.	14	244
POS1	1	NG	14	0.028	59.4	9.9	186.0	1.7	58.0	2.4	8.7	133.7	.	.	.	21	457	.	14	258
POS1	1	LD	14	0.028	59.4	9.9	186.0	1.5	30.0	0.6	4.0	28.4	.	.	.	62	758	.	14	258
POS1	1	NG	15	0.618	28.9	19.2	205.2	2.5	23.0	1.2	13.2	146.9	0.7	0.2	0.2	39	496	1	12	269
POS1	1	LD	15	0.618	28.9	19.2	205.2	1.1	13.5	0.4	7.1	35.5	2.8	2.4	2.9	200	958	3	12	269
POS1	1	NG	16	0.028	57.9	18.9	224.1	1.6	44.0	1.6	14.4	161.3	0.6	0.2	0.2	31	527	1	26	295
POS1	1	LD	16	0.028	57.9	18.9	224.1	2.2	31.5	0.7	9.9	45.4	3.8	2.3	2.2	255	1213	3	26	295
POS1	1	NG	17	0.021	80.4	17.4	241.5	1.6	71.5	2.2	13.7	175.0	0.7	0.2	0.2	63	590	2	25	320
POS1	1	LD	17	0.021	80.4	17.4	241.5	1.9	46.5	1.1	9.5	54.9	5.3	3.2	3.1	365	1519	2	25	320
POS1	1	NG	18	0.021	103.2	18.8	260.3	1.9	92.5	2.5	14.2	189.2	0.6	0.2	0.3	61	650	2	38	357
POS1	1	LD	18	0.021	103.2	18.8	260.3	2.0	68.0	1.2	10.1	65.0	3.6	.	2.3	237	1756	2	36	357
POS2	1	NG	1	99.999	55.1	14.7	14.7	11.4	0.1	0.0	0.1	0.1	.	.	.	0	0	.	19	19
POS2	1	LD	1	99.999	55.1	14.7	14.7	14.7	0.0	0.0	0.0	0.0	.	.	.	0	0	.	19	19
POS2	1	NG	2	0.021	60.9	60.9	75.6	3.5	8.0	0.4	6.4	6.5	1.0	0.2	0.2	48	48	2	87	107
POS2	1	LD	2	0.021	60.9	60.9	75.6	6.8	1.5	0.1	1.1	1.1	.	.	.	0	0	.	87	107
POS2	1	NG	3	0.843	58.1	29.1	104.7	4.6	7.5	0.3	2.7	9.2	0.9	0.2	0.2	10	58	1	40	147
POS2	1	LD	3	0.843	58.1	29.1	104.7	5.5	1.5	0.1	0.6	1.7	.	.	.	0	0	.	40	147
POS2	1	NG	4	0.010	59.6	30.0	134.7	2.2	8.0	0.3	3.7	12.9	0.7	0.2	0.2	11	69	1	42	189
POS2	1	LD	4	0.010	59.6	30.0	134.7	4.0	1.5	0.0	0.7	2.4	.	0.2	0.2	15	15	1	42	189
POS2	1	NG	5	0.292	60.5	30.2	164.9	4.1	8.5	0.3	3.3	16.2	0.7	0.1	0.1	8	77	1	43	232
POS2	1	LD	5	0.292	60.5	30.2	164.9	2.8	2.0	0.0	0.6	3.6	.	0.2	0.2	2	17	1	43	232
POS2	1	NG	6	0.010	61.6	30.8	195.7	2.4	10.0	0.4	4.8	20.0	0.6	.	.	14	91	1	43	275
POS2	1	LD	6	0.010	61.6	30.8	195.7	4.0	2.0	0.0	0.9	3.9	.	0.2	0.2	0	17	1	43	275
POS2	1	NG	7	0.579	58.4	9.7	205.4	3.7	8.5	0.3	1.0	22.0	.	.	.	4	95	.	13	289
POS2	1	LD	7	0.579	58.4	9.7	205.4	4.0	1.5	0.1	0.1	4.0	.	.	.	2	19	.	13	289
POS2	1	NG	8	0.014	59.2	9.9	215.3	2.1	9.0	0.4	1.4	23.4	.	.	.	4	99	.	14	302
POS2	1	LD	8	0.014	59.2	9.9	215.3	3.1	1.5	0.0	0.2	4.2	.	.	.	1	20	.	14	302
POS2	1	NG	9	0.014	60.3	10.0	225.3	2.2	11.5	0.5	1.5	24.9	.	.	.	4	103	.	14	317
POS2	1	LD	9	0.014	60.3	10.0	225.3	3.2	2.0	0.1	0.2	4.4	.	.	.	2	22	.	14	317
POS2	1	NG	10	0.014	61.3	20.5	245.8	2.0	19.5	0.8	4.4	29.3	.	.	.	9	112	.	30	347
POS2	1	LD	10	0.014	61.3	20.5	245.8	3.1	3.0	0.1	0.6	5.0	.	.	.	3	25	.	30	347
POS2	1	NG	11	0.014	61.0	20.3	256.1	2.1	20.0	1.0	4.8	31.1	.	.	.	9	121	.	29	376
POS2	1	LD	11	0.014	61.0	20.3	256.1	2.8	8.5	0.1	0.0	6.0	.	.	.	2	29	.	29	376
POS2	1	NG	12	0.021	59.8	19.9	286.0	2.2	19.0	1.1	4.5	38.6	.	.	.	8	129	.	28	404
POS2	1	LD	12	0.021	59.8	19.9	286.0	3.0	6.0	0.1	0.9	6.9	.	.	.	3	31	.	28	404
POS2	1	NG	13	0.021	60.0	30.0	316.0	2.1	26.0	1.3	8.7	47.3	.	.	.	13	142	.	42	446
POS2	1	LD	13	0.021	60.0	30.0	316.0	3.0	8.7	0.2	2.4	9.3	.	.	.	5	36	.	42	446

SAS

17:17 WEDNESDAY, FEBRUARY 3, 1988

16

11

NUM=3 SITE=POUNI

SOL	COUPLE	PARCELLE	AVERSE	TA	I	PU	SPU	PI	RX	DR	L	SL	CS	CX	CTU	E	SE	TY	EV	SEV
POS2	1	NG	14	0.021	59.7	29.9	345.9	2.0	25.0	1.4	9.5	56.8	.	.	.	13	155	.	42	489
POS2	1	LD	14	0.021	59.7	29.9	345.9	3.2	10.5	0.3	2.7	12.0	.	.	.	5	41	.	42	489
POS2	1	NG	15	0.111	60.5	30.2	376.1	2.7	18.5	1.0	6.3	63.1	.	.	.	13	168	.	43	532
POS2	1	LD	15	0.111	60.5	30.2	376.1	3.0	6.0	0.1	1.4	13.4	.	.	.	5	46	.	43	532
POS2	1	NG	16	0.028	61.9	31.0	407.1	2.9	12.0	0.4	3.0	16.4	0.3	0.2	0.2	20	188	0	45	577
POS2	1	LD	16	0.028	61.9	31.0	407.1	2.9	12.0	0.4	3.0	16.4	0.3	0.2	0.1	6	52	0	45	577
POS2	1	LD	17	2.597	58.8	19.6	426.7	6.8	7.0	0.3	1.6	75.7	.	.	.	3	55	.	27	604
POS2	1	LD	17	2.597	58.8	19.6	426.7	7.1	1.2	0.0	0.2	16.6	.	.	.	3	55	.	27	604
POS2	1	LD	18	0.021	60.1	20.0	446.7	2.9	10.5	0.5	3.1	78.8	.	.	.	8	204	.	28	633
POS2	1	LD	18	0.021	60.1	20.0	446.7	3.6	2.0	0.1	0.5	17.1	.	.	.	3	58	.	28	633
POS2	1	NG	19	0.021	59.2	19.8	466.5	3.0	17.0	0.8	3.9	82.7	.	.	.	8	212	.	27	660
POS2	1	LD	19	0.021	59.2	19.8	466.5	3.6	2.2	0.1	0.6	17.7	.	.	.	3	61	.	27	660
POS2	1	NG	20	0.021	59.8	19.9	486.4	2.8	21.0	1.3	4.8	87.5	.	.	.	8	220	.	28	688
POS2	1	LD	20	0.021	59.8	19.9	486.4	3.5	2.5	0.1	0.6	18.3	.	.	.	3	64	.	28	688
POS2	1	NG	21	0.031	59.3	19.8	506.2	2.9	17.0	1.2	3.9	91.4	.	.	.	8	228	.	28	716
POS2	1	LD	21	0.031	59.3	19.8	506.2	3.4	3.0	0.1	0.7	19.0	.	.	.	3	67	.	28	716
POS2	1	LD	22	0.021	59.8	19.9	526.1	2.7	27.0	1.6	4.8	96.2	.	.	.	3	67	.	28	744
POS2	1	NG	22	0.021	59.8	19.9	526.1	3.5	7.0	0.2	1.0	20.0	.	.	.	3	70	.	28	744
POS2	1	LD	23	0.135	28.9	19.3	545.4	3.2	5.5	0.4	2.7	98.9	0.3	0.1	0.1	4	240	1	12	756
POS2	1	LD	23	0.135	28.9	19.3	545.4	3.4	1.1	.	0.6	20.6	.	.	.	0	70	2	12	756
POS2	1	NG	24	0.021	60.1	20.0	565.4	2.8	16.5	1.4	4.6	103.5	0.3	0.1	0.1	7	247	1	28	784
POS2	1	LD	24	0.021	60.1	20.0	565.4	2.9	3.8	0.1	1.1	21.7	0.1	0.1	0.1	1	71	0	28	784
POS2	1	NG	25	0.021	84.5	18.3	583.7	2.3	51.0	3.0	7.4	110.9	0.3	.	0.2	12	259	2	28	812
POS2	1	LD	25	0.021	84.5	18.3	583.7	3.0	12.5	0.3	1.7	23.4	0.3	.	0.1	8	79	2	28	812
POS2	1	NG	26	0.021	114.8	19.1	602.8	2.4	70.5	4.2	8.6	119.5	0.4	.	0.1	6	265	2	41	853
POS2	1	LD	26	0.021	114.8	19.1	602.8	3.2	21.0	0.6	2.2	25.6	0.3	.	0.2	4	83	2	41	853
POS2	1	CG	27	0.634	60.9	182.7	785.5	12.8	6.7	0.2	8.4	127.9	2.6	.	1.3	180	180	2	263	263
POS2	1	CG	27	0.634	60.9	182.7	785.5	16.5	11.5	0.5	20.6	46.2	1.6	.	0.3	135	135	2	263	263
POS3	1	NG	1	99.999	59.8	59.8	59.8	8.4	47.0	2.0	35.5	36.5	9.3	3.1	3.1	1210	1210	1	84	84
POS3	1	LD	1	99.999	59.8	59.8	59.8	15.5	16.0	0.6	3.9	3.9	.	.	4.7	126	126	5	84	84
POS3	1	NG	2	0.924	60.2	30.1	89.9	2.5	49.0	1.8	20.6	57.1	4.5	3.1	3.1	626	1836	1	43	127
POS3	1	LD	2	0.924	60.2	30.1	89.9	2.8	39.0	1.6	14.4	18.3	5.7	4.6	4.6	877	1003	1	43	127
POS3	1	NG	3	0.013	61.2	30.6	120.5	1.2	55.0	1.9	25.9	83.0	5.4	3.5	3.5	687	2723	1	44	172
POS3	1	LD	3	0.013	61.2	30.6	120.5	1.2	50.5	1.8	22.5	40.8	7.5	3.2	3.2	843	1846	1	44	172
POS3	1	NG	4	0.293	59.9	29.9	150.4	2.0	53.0	1.9	23.9	106.9	4.5	3.0	3.0	733	3456	1	42	214
POS3	1	LD	4	0.293	59.9	29.9	150.4	1.9	49.7	1.9	21.8	62.6	4.7	3.0	2.9	687	2533	1	42	214
POS3	1	NG	5	0.011	61.4	30.7	181.1	1.2	56.7	1.9	26.5	133.4	4.6	2.6	2.6	686	4142	1	43	257
POS3	1	LD	5	0.011	61.4	30.7	181.1	1.1	59.0	2.0	27.6	90.2	4.2	2.5	2.6	756	3289	1	43	257
POS3	1	NG	6	0.656	59.7	11.3	192.4	1.6	51.0	1.7	7.6	141.0	.	.	.	158	4300	.	16	273
POS3	1	LD	6	0.656	59.7	11.3	192.4	1.4	49.0	1.8	7.6	97.8	.	.	.	174	3463	.	16	273
POS3	1	NG	7	0.014	59.7	10.0	202.4	1.3	49.5	2.3	7.9	148.9	.	.	.	141	4441	.	14	287
POS3	1	LD	7	0.014	59.7	10.0	202.4	1.2	49.5	1.8	7.9	105.7	.	.	.	155	3618	.	14	287
POS3	1	NG	8	0.014	59.7	10.0	212.4	1.2	58.0	2.2	8.5	157.4	.	.	.	141	4882	.	14	301
POS3	1	LD	8	0.014	59.7	10.0	212.4	1.2	51.0	1.8	8.0	113.7	.	.	.	155	3773	.	14	301
POS3	1	NG	9	0.014	57.6	9.6	222.0	1.2	55.5	2.1	8.4	165.8	.	.	.	130	4712	.	13	314
POS3	1	LD	9	0.014	57.6	9.6	222.0	1.1	54.5	1.8	8.3	122.0	.	.	.	143	3916	.	13	314
POS3	1	NG	10	0.014	59.0	10.2	232.2	1.3	55.5	2.2	8.8	174.6	.	.	.	142	4854	.	14	328
POS3	1	LD	10	0.014	59.0	10.2	232.2	1.0	52.0	1.9	8.4	130.4	.	.	.	156	4072	.	14	328
POS3	1	NG	11	0.014	57.9	9.7	241.9	1.3	57.0	2.1	8.1	182.7	.	.	.	133	4987	.	13	341
POS3	1	LD	11	0.014	57.9	9.7	241.9	1.2	52.3	2.1	8.4	138.8	.	.	.	146	4218	.	13	341
POS3	1	NG	12	0.014	59.0	9.8	251.7	1.3	58.5	2.2	8.7	191.4	.	.	.	136	5123	.	14	355
POS3	1	LD	12	0.014	59.0	9.8	251.7	1.1	53.5	1.8	8.0	146.8	.	.	.	150	4368	.	14	355
POS3	1	NG	13	0.014	58.8	9.8	261.5	1.2	57.5	1.9	8.6	200.0	.	.	.	136	5259	.	14	368
POS3	1	LD	13	0.014	58.8	9.8	261.5	1.1	53.5	1.8	8.3	155.1	.	.	.	150	4518	.	14	368

SAS

17:17 WEDNESDAY, FEBRUARY 3, 1988

17

12

NUM=3 SITE=POUNI

SOL	COUPLE	PARCELLE	AVERSE	TA	I	PU	SPU	PI	RX	DR	L	SL	CS	CX	CTU	E	SE	TY	EV	SEV
POS3	1	NG	14	0.135	58.8	9.8	271.3	1.5	53.5	2.0	7.5	207.5	2.7	.	1.8	115	5374	2	14	382
POS3	1	LO	14	0.135	58.8	9.8	271.3	1.3	51.6	1.9	7.7	162.8	3.0	.	2.0	159	4677	2	14	382
POS3	1	NG	15	0.028	60.1	10.0	281.3	1.3	57.0	1.9	8.5	216.0	.	.	.	142	5516	.	14	396
POS3	1	LO	15	0.028	60.1	10.0	281.3	1.1	52.7	2.0	8.4	171.2	.	.	.	156	4833	.	14	396
POS3	1	NG	16	0.028	60.7	10.1	291.4	1.3	52.7	1.8	8.4	224.4	.	.	.	145	5661	.	14	410
POS3	1	LO	16	0.028	60.7	10.1	291.4	1.1	52.7	1.8	8.3	179.5	.	.	.	159	4992	.	14	410
POS3	1	NG	17	0.028	59.7	9.9	301.3	1.0	54.0	1.8	8.1	232.5	3.1	.	2.2	142	5803	2	14	424
POS3	1	LO	17	0.028	59.7	9.9	301.3	1.0	53.5	2.1	8.4	187.9	3.4	.	1.6	142	5134	2	14	424
POS3	1	NG	18	2.625	60.0	20.0	321.3	3.9	48.6	1.6	12.7	245.2	.	.	.	283	6086	.	28	453
POS3	1	LD	18	2.625	60.0	20.0	321.3	2.6	53.5	1.6	14.0	201.9	.	.	.	311	5445	.	28	453
POS3	1	NG	19	0.021	60.2	20.1	341.4	1.5	53.0	1.7	16.0	261.2	.	.	.	285	6371	.	28	481
POS3	1	LD	19	0.021	60.2	20.1	341.4	1.7	59.5	1.7	18.9	220.8	.	.	.	313	5758	.	28	481
POS3	1	NG	20	0.021	58.4	19.5	360.9	1.1	51.0	1.7	16.1	277.3	.	.	.	269	6640	.	27	508
POS3	1	LD	20	0.021	58.4	19.5	360.9	1.5	67.0	1.9	20.3	241.1	.	.	.	296	6054	.	27	508
POS3	1	NG	21	0.021	59.1	19.7	380.6	1.0	51.0	1.8	15.7	293.0	.	.	.	275	6915	.	27	535
POS3	1	LD	21	0.021	59.1	19.7	380.6	1.4	62.0	1.9	20.0	261.1	.	.	.	302	6356	.	27	535
POS3	1	NG	22	0.156	29.0	19.3	399.9	1.5	27.0	1.2	16.8	309.8	2.6	1.5	1.5	236	7151	1	12	547
POS3	1	LD	22	0.156	29.0	19.3	399.9	1.0	27.5	1.1	16.9	278.0	3.5	.	2.1	457	6813	2	12	547
POS3	1	NG	23	0.021	58.4	19.5	419.4	1.7	58.4	2.1	17.1	326.9	3.5	1.8	1.6	287	7438	1	27	574
POS3	1	LD	23	0.021	58.4	19.5	419.4	1.1	52.2	1.9	16.3	294.3	6.3	.	1.6	373	7386	2	27	574
POS3	1	NG	24	0.021	82.7	17	437.3	3.6	85.4	2.7	17.2	344.1	4.0	2.2	2	368	8061	.	27	601
POS3	1	LD	24	0.021	82.7	17.9	437.4	1.1	67.0	2.0	14.6	308.9	7.3	.	583	7575	1	27	601	
POS3	1	NG	25	0.021	113.2	18.9	456.2	2.2	114.0	3.4	18.5	362.6	7.9	2.2	2.0	378	8184	1	40	641
POS3	1	LD	25	0.021	113.2	18.9	456.2	1.5	110.0	3.0	15.6	324.5	5.7	.	4.0	639	6614	2	40	641
POS3	1	NG	26	0.708	61.9	113.4	569.6	20.1	36.5	2.7	29.0	391.6	9.1	5.7	5.3	1683	1683	4	166	166
POS3	1	CD	26	0.708	61.9	113.4	569.6	20.5	28.0	2.3	19.0	343.5	3.6	2.7	2.0	415	415	1	166	166

SAS

17:17 WEDNESDAY, FEBRUARY 3, 1988

18

NUM=4 SITE=SAINT PAUL

SOL	COUPLE	PARCELLE	AVERSE	TA	I	PU	SPU	PI	RX	DR	L	SL	CS	CX	CTU	E	SE	TY	EV	SEV
SPS1	1	NG	11	0.121	59.3	9.9	154.1	2.4	46.0	1.4	5.2	82.7	2.5	.	1.4	97	932	2	14	210
SPS1	1	LD	11	0.121	59.3	9.9	154.1	1.8	45.0	1.0	5.7	46.9	4.5	.	2.5	207	1567	2	14	210
SPS1	1	NG	12	0.028	59.0	9.8	163.9	2.4	46.5	1.2	5.8	88.5	.	.	.	46	978	.	14	224
SPS1	1	LD	12	0.028	59.0	9.8	163.9	1.5	48.0	1.1	6.5	53.4	.	.	.	163	1730	.	14	224
SPS1	1	NG	13	0.028	59.3	9.9	173.8	1.9	49.5	1.2	6.1	94.6	.	.	.	47	1025	.	14	238
SPS1	1	LD	13	0.028	59.3	9.9	173.8	1.6	47.5	1.5	6.7	80.1	.	.	.	166	1896	.	14	238
SPS1	1	NG	14	0.028	61.0	10.2	184.0	2.1	51.0	1.5	6.3	100.9	1.5	.	0.4	142	1067	2	15	252
SPS1	1	LD	14	0.028	61.0	10.2	184.0	1.6	45.0	1.1	6.8	86.2	3.8	.	2.0	172	2058	2	15	252
SPS1	1	NG	15	0.594	30.4	20.3	204.3	3.2	18.0	0.6	8.8	109.7	1.8	0.6	0.4	45	1112	1	13	265
SPS1	1	LD	15	0.594	30.4	20.3	204.3	1.6	22.0	0.6	12.8	79.7	2.7	2.1	2.2	270	2338	1	13	265
SPS1	1	NG	16	0.028	74.0	24.6	228.9	3.1	47.5	1.3	13.0	122.7	2.6	0.2	0.3	82	1194	1	43	308
SPS1	1	LD	16	0.028	74.0	24.6	228.9	2.3	67.5	1.6	20.8	100.5	4.5	.	2.5	691	3029	2	43	308
SPS1	1	NG	17	0.028	90.5	19.6	248.5	2.7	64.5	2.5	12.6	135.3	3.0	0.6	0.6	70	1264	1	32	340
SPS1	1	LD	17	0.028	90.5	19.6	248.5	1.8	82.5	2.0	16.4	116.9	6.0	4.1	4.1	675	3704	1	32	340
SPS1	1	NG	18	0.028	120.6	20.1	268.6	2.4	96.5	2.3	13.9	149.2	2.1	0.7	0.7	96	1360	1	45	387
SPS1	1	LD	18	0.028	120.6	20.1	268.6	1.9	113.5	2.3	15.6	132.5	6.2	5.2	5.7	873	4577	3	45	387
SPS2	1	ND	1	99.999	59.9	59.9	59.9	12.1	45.5	1.2	32.2	32.2	5.7	2.6	2.5	992	992	1	85	85
SPS2	1	LG	1	99.999	59.9	59.9	59.9	18.8	3.5	0.1	1.6	1.6	.	.	1.7	37	37	1	85	85
SPS2	1	ND	2	0.907	56.8	28.4	88.3	1.6	50.0	1.0	21.0	53.2	4.0	2.2	3.2	560	1572	3	38	123
SPS2	1	LG	2	0.907	56.8	28.4	88.3	2.6	9.5	0.1	3.0	4.6	5.5	3.8	10.0	142	179	3	38	123
SPS2	1	ND	3	0.012	57.8	28.9	117.2	1.3	52.0	1.0	24.8	78.0	3.5	2.7	2.5	592	2164	1	39	162
SPS2	1	LG	3	0.012	57.8	28.9	117.2	1.2	11.5	0.2	5.0	9.6	8.5	.	4.0	360	539	2	39	162
SPS2	1	ND	4	0.268	58.5	29.2	146.4	1.6	51.0	1.3	23.6	101.6	5.1	.	2.1	840	3004	2	40	202
SPS2	1	LG	4	0.268	58.5	29.2	146.4	1.5	26.5	0.5	9.1	18.7	7.0	6.8	6.8	595	1134	1	40	202
SPS2	1	ND	5	0.012	60.9	30.5	176.9	1.2	55.5	1.0	26.4	128.0	.	.	.	657	3661	.	44	246
SPS2	1	LG	5	0.012	60.9	30.5	176.9	1.4	39.0	0.8	16.2	34.9	8.5	6.0	4.0	1284	2418	3	44	246
SPS2	1	ND	6	0.631	59.0	9.8	186.7	1.8	43.5	1.0	6.2	134.2	.	.	.	204	3865	.	14	260
SPS2	1	LG	6	0.631	59.0	9.8	186.7	1.2	35.0	0.8	4.6	39.5	.	.	.	408	2826	.	14	260
SPS2	1	ND	7	0.014	59.7	10.0	196.7	1.2	44.5	1.0	6.9	141.1	.	.	.	282	4147	.	14	274
SPS2	1	LG	7	0.014	59.7	10.0	196.7	1.1	42.0	0.8	6.0	45.5	.	.	.	423	3249	.	14	274
SPS2	1	ND	8	0.014	59.9	10.0	206.7	1.2	45.5	1.0	6.8	147.9	.	.	.	282	4429	.	14	288
SPS2	1	LG	8	0.014	59.9	10.0	206.7	1.1	47.5	0.7	6.2	51.7	.	.	.	423	3672	.	14	288
SPS2	1	ND	9	0.042	28.7	9.6	216.3	1.1	21.5	0.6	6.1	154.0	.	.	.	145	4574	.	6	294
SPS2	1	LG	9	0.042	28.7	9.6	216.3	0.8	15.0	0.2	4.1	55.8	.	.	.	174	3846	.	6	284
SPS2	1	ND	10	0.014	29.6	9.9	226.2	1.0	23.0	0.5	6.8	160.8	.	.	.	147	4721	.	6	300
SPS2	1	LG	10	0.014	29.6	9.9	226.2	0.8	17.5	0.4	5.2	61.0	.	.	.	177	4023	.	6	300
SPS2	1	ND	11	0.014	28.4	11.8	238.0	1.0	22.5	0.6	9.0	169.8	.	.	.	210	4931	.	7	307
SPS2	1	LG	11	0.014	28.4	11.8	238.0	0.7	21.0	0.6	7.7	68.7	.	.	.	210	4233	.	7	300
SPS2	1	ND	12	0.222	58.5	9.8	247.8	1.4	49.0	1.0	7.1	176.9	.	.	.	405	5336	.	13	320
SPS2	1	LG	12	0.222	58.5	9.8	247.8	1.1	47.0	1.0	6.7	75.4	.	.	.	405	4638	.	13	320
SPS2	1	ND	13	0.028	60.4	10.1	257.9	1.3	49.0	1.1	7.5	184.4	.	.	.	504	5840	.	14	335
SPS2	1	LG	13	0.028	60.4	10.1	257.9	1.1	46.0	0.9	6.8	82.2	.	.	.	432	4070	.	14	335
SPS2	1	ND	14	2.614	59.6	19.9	277.8	2.3	60.0	1.1	16.6	201.0	5.5	.	1.9	702	6542	2	28	363
SPS2	1	LG	14	2.614	59.6	19.9	277.8	2.0	42.5	0.7	11.5	93.7	6.0	.	3.2	591	5661	2	28	363
SPS2	1	ND	15	0.021	62.5	20.8	298.6	1.4	54.5	1.0	16.9	217.9	.	.	.	1074	7616	.	31	393
SPS2	1	LG	15	0.021	62.5	20.8	298.6	1.2	44.0	0.8	13.6	107.3	.	.	.	921	6582	.	31	393
SPS2	1	ND	16	0.021	59.8	19.9	318.5	1.2	52.0	1.0	16.6	234.5	8.5	.	3.7	1035	8651	2	28	421
SPS2	1	LG	16	0.021	59.8	19.9	318.5	1.1	43.6	0.9	13.3	120.6	10.0	.	4.1	975	7557	2	28	421
SPS2	1	ND	17	0.178	28.8	19.2	237.7	1.5	22.5	0.5	13.4	247.9	6.3	.	1.5	504	9155	2	11	433
SPS2	1	LG	17	0.178	28.8	19.2	237.7	1.1	21.5	0.5	12.6	133.2	5.8	.	4.3	561	8118	2	11	433
SPS2	1	ND	18	0.021	58.8	19.6	357.3	1.1	50.0	0.9	16.6	264.5	6.0	5.1	5.0	885	10040	1	27	460
SPS2	1	LG	18	0.021	58.8	19.6	357.3	0.9	47.5	0.8	14.9	148.1	10.0	5.4	5.4	937	9055	1	27	460
SPS2	1	ND	19	0.021	88.2	19.1	376.4	1.1	78.0	1.3	15.9	280.4	12.0	.	3.6	1245	11285	2	30	491
SPS2	1	LG	19	0.021	88.2	19.1	376.4	1.0	74.0	1.2	15.6	163.7	11.5	.	3.3	1170	10225	2	30	491

SAS

17:17 WEDNESDAY, FEBRUARY 3, 1988

19

NUM=4 SITE=SAINT PAUL

SOL	COUPLE	PARCELLE	AVERSE	TA	I	PU	SPU	PI	RX	DR	L	SL	CS	CX	CTU	E	SE	TY	EV	SEV
SPS2	1	ND	20	0.021	122.2	20.4	396.8	1.1	108.5	1.7	17.1	297.5	12.0	4.5	4.2	972	12257	1	47	537
SPS2	1	LG	20	0.021	122.2	20.4	396.8	1.2	111.5	1.7	16.3	180.0	10.5	.	3.5	1125	11350	2	47	537

N= 76

## BATANGA

NUM=5 SITE=BATANGA

SOL	COUPLE	PARCELLE	AVERSE	TA	I	PU	SPU	P1	RX	DR	L	SL	CS	CX	CTU	E	SE	TY	EV	SEV
BAS1	1	NG	1	99.999	94.7	94.7	94.7	8.9	14.5	0.6	11.0	11.0	.	.	4.5	450	450	5	162	162
BAS1	1	LD	1	99.999	94.7	94.7	94.7	14.3	7.0	0.1	3.1	3.1	.	.	13.9	435	435	5	162	162
BAS1	1	NG	2	0.913	63.1	31.5	126.2	3.9	10.0	0.5	4.1	15.1	3.0	0.9	0.9	49	499	1	47	209
BAS1	1	LD	2	0.913	63.1	31.5	126.2	2.5	8.0	0.2	2.5	5.6	.	.	12.5	193	628	5	47	209
BAS1	1	NG	3	0.011	62.7	31.3	157.5	1.3	16.5	0.8	6.5	21.6	2.5	0.7	0.7	52	551	1	46	255
BAS1	1	LD	3	0.011	62.7	31.3	157.5	1.2	10.0	0.3	4.2	9.8	11.0	.	5.0	345	973	2	46	255
BAS1	1	NG	4	0.187	60.1	30.1	187.6	2.5	19.0	1.0	8.6	28.2	2.5	1.1	2.7	87	638	3	43	298
BAS1	1	LD	4	0.187	60.1	30.1	187.6	1.3	15.0	0.5	5.6	15.4	17.0	.	4.5	504	1477	2	43	298
BAS1	1	NG	5	0.014	59.1	29.5	217.1	1.0	19.0	1.2	9.0	37.2	2.5	0.8	0.8	73	711	1	41	339
BAS1	1	LD	5	0.014	59.1	29.5	217.1	0.8	17.0	0.6	8.4	23.8	12.5	7.5	8.5	762	2239	3	41	339
BAS1	1	NG	6	1.760	54.1	9.0	226.1	3.7	4.0	0.3	0.7	37.9	1.3	.	0.7	2	713	2	11	350
BAS1	1	LD	6	1.760	54.1	9.0	226.1	2.6	6.0	0.3	0.6	24.4	8.0	.	6.2	45	2284	2	11	350
BAS1	1	NG	7	0.021	55.1	9.2	235.3	2.1	11.0	0.7	1.3	39.2	.	.	.	12	725	.	12	363
BAS1	1	LO	7	0.021	55.1	9.2	235.3	1.4	7.0	0.4	1.1	25.5	.	.	.	139	2423	.	12	363
BAS1	1	NG	8	0.021	56.1	9.3	244.6	1.9	10.5	1.0	1.9	41.1	.	.	.	12	737	.	12	375
BAS1	1	LD	8	0.021	56.1	9.3	244.6	1.3	10.0	0.6	1.6	27.1	.	.	.	143	2566	.	12	375
BAS1	1	NG	9	0.021	54.0	9.0	253.6	1.7	14.5	1.2	2.1	43.2	.	.	.	11	748	.	11	386
BAS1	1	LD	9	0.021	54.0	9.0	253.6	1.1	10.0	0.6	1.5	28.6	.	.	.	132	2698	.	11	386
BAS1	1	NG	10	0.021	55.6	9.3	262.9	1.9	10.4	1.2	2.4	42.4	.	.	.	12	750	.	12	398
BAS1	1	LD	10	0.021	55.6	9.3	262.9	1.2	11.5	0.8	1.8	30.5	.	.	.	141	2639	.	12	398
BAS1	1	NG	11	0.021	54.6	9.1	272.0	1.8	18.5	1.8	2.8	48.3	.	.	.	12	772	.	12	410
BAS1	1	LD	11	0.021	54.6	9.1	272.0	1.1	9.5	0.8	1.8	32.2	.	.	.	136	2975	.	12	410
BAS1	1	NG	12	0.024	54.6	9.1	281.1	1.8	17.5	2.6	3.6	51.9	.	.	.	12	784	.	12	422
BAS1	1	LD	12	0.024	54.6	9.1	281.1	1.1	14.0	1.2	2.5	34.7	.	.	.	136	3111	.	12	422
BAS1	1	NG	13	0.028	57.4	9.6	290.7	1.9	27.0	3.6	5.0	56.9	.	.	0.5	10	794	0	13	435
BAS1	1	LO	13	0.028	57.4	9.6	290.7	1.0	17.0	1.6	3.1	37.8	7.0	.	2.7	127	3238	2	13	435
BAS1	1	NG	14	1.705	58.2	19.4	310.1	5.4	9.5	0.5	1.6	58.5	.	.	.	37	821	.	27	461
BAS1	1	LD	14	1.705	58.2	19.4	310.1	3.9	18.0	1.1	3.8	41.6	.	.	.	208	3466	.	27	461
BAS1	1	NG	15	0.021	58.9	19.6	329.7	2.9	39.6	3.7	6.5	68.5	.	.	.	27	848	.	27	489
BAS1	1	LD	15	0.021	58.9	19.6	329.7	1.2	41.5	2.2	10.8	52.4	.	.	.	315	3861	.	27	489
BAS1	1	NG	16	0.021	58.0	19.3	349.0	2.0	52.0	4.5	13.6	80.1	.	.	.	26	874	.	26	515
BAS1	1	LO	16	0.021	58.0	19.3	349.0	1.1	50.0	2.8	12.4	64.8	.	.	.	306	4167	.	26	515
BAS1	1	NG	17	0.021	58.4	19.5	368.5	1.6	56.5	4.9	14.8	94.9	.	.	.	27	901	.	27	542
BAS1	1	LD	17	0.021	58.4	19.5	368.5	1.1	49.0	2.8	13.8	78.6	.	.	.	312	4479	.	27	542
BAS1	1	NG	18	0.142	29.1	19.4	387.9	2.3	14.0	2.5	5.5	100.4	1.0	0.9	0.9	29	930	2	12	554
BAS1	1	LD	18	0.142	29.1	19.4	387.9	1.3	25.5	1.9	13.0	91.6	3.3	2.1	3.0	277	4756	2	12	554
BAS1	1	NG	19	0.028	58.3	19.4	407.3	1.5	52.0	4.9	13.3	113.7	1.8	.	0.4	70	1000	3	27	580
BAS1	1	LD	19	0.028	58.3	19.4	407.3	1.0	54.9	3.7	13.8	96.5	.	.	3.3	485	551	2	27	580
BAS1	1	NG	20	0.028	90.7	19.6	426.9	1.9	67.5	8.1	13.8	127.5	8.0	.	1.2	135	1135	2	32	613
BAS1	1	LD	20	0.028	90.7	19.6	426.9	1.1	82.5	4.0	16.1	124.0	8.0	.	4.0	525	5776	2	32	613
BAS1	1	CG	21	0.680	93.4	93.4	520.3	12.8	70.0	6.9	25.6	153.1	12.0	.	7.0	452	.	2	158	158
BAS1	1	CD	21	0.680	93.4	93.4	520.3	6.7	93.4	7.1	20.7	144.7	4.0	.	0.6	569	.	2	158	158

SAS

17:17 WEDNESDAY, FEBRUARY 3, 1988

20

15

NUM=6 SITE=LOUMBILA

SOL	COUPLE	PARCELLE	AVERSE	TA	I	PU	SPU	PI	RX	DR	L	SL	CS	CX	CTU	E	SE	TY	EV	SEV
LOS1	1	NG	1	99.999	60.9	60.9	60.9	8.7	49.0	1.2	37.8	37.8	4.6	1.4	1.4	547	547	1	87	87
LOS1	1	LD	1	99.999	60.9	60.9	60.9	9.9	1.6	0.0	0.7	0.8	.	.	.	0	0	.	87	87
LOS1	1	NG	2	0.875	59.7	29.9	90.8	2.6	50.0	1.2	19.2	57.0	2.5	0.7	0.7	155	702	1	42	130
LOS1	1	LD	2	0.875	59.7	29.9	90.8	3.0	23.5	0.6	4.5	5.2	.	.	2.5	104	104	5	42	130
LOS1	1	NG	3	0.012	62.0	31.0	121.8	1.4	48.0	1.5	22.2	79.2	1.5	0.6	0.6	210	912	1	42	130
LOS1	1	LD	3	0.012	62.0	31.0	121.8	1.6	32.5	1.0	10.3	18.5	2.9	1.6	1.6	205	309	1	45	175
LOS1	1	NG	4	0.299	64.9	31.9	153.7	2.3	54.0	1.6	24.0	103.2	2.3	0.5	0.5	187	1099	1	45	175
LOS1	1	LD	4	0.299	64.9	31.9	153.7	3.2	37.0	1.4	13.7	32.2	3.7	1.2	1.3	249	558	1	49	224
LOS1	1	NG	5	0.011	64.8	32.4	186.1	1.5	57.0	1.7	27.0	130.2	1.6	0.5	0.5	160	1259	1	49	224
LOS1	1	LD	5	0.011	64.8	32.4	186.1	1.9	39.0	1.6	17.1	49.3	2.2	1.4	1.4	260	818	1	49	273
LOS1	1	NG	6	0.594	59.8	10.0	196.1	2.0	50.5	1.3	6.9	13.1	.	.	.	48	1307	.	49	273
LOS1	1	LD	6	0.594	59.8	10.0	196.1	2.6	30.0	1.3	2.7	52.0	.	.	.	61	879	.	49	273
LOS1	1	NG	7	0.014	60.2	10.0	206.1	1.4	55.0	1.6	8.0	145.1	.	.	.	48	1355	.	14	287
LOS1	1	LD	7	0.014	60.2	10.0	206.1	1.7	45.0	1.5	5.2	57.2	.	.	.	61	940	.	14	302
LOS1	1	NG	8	0.014	59.7	10.0	216.1	1.5	54.0	1.5	7.5	152.6	.	.	.	48	1403	.	14	302
LOS1	1	LD	8	0.014	59.7	10.0	216.1	1.6	48.0	1.5	5.8	63.0	.	.	.	61	1001	.	14	316
LOS1	1	NG	9	0.014	61.5	10.2	226.3	1.8	53.0	1.6	7.6	160.2	.	.	.	50	1453	.	14	316
LOS1	1	LD	9	0.014	61.5	10.2	226.3	1.8	48.5	1.6	5.6	68.6	.	.	.	64	1065	.	15	330
LOS1	1	NG	10	0.257	58.7	9.8	236.1	2.5	46.0	0.9	5.3	165.5	.	.	.	46	1499	.	14	344
LOS1	1	LD	10	0.257	58.7	9.8	236.1	2.8	41.8	0.8	3.8	72.4	.	.	.	58	1124	.	14	344
LOS1	1	NG	11	0.028	59.8	10.0	246.1	1.7	48.5	1.5	6.7	172.2	.	.	.	48	1547	.	14	358
LOS1	1	LD	11	0.028	59.8	10.0	246.1	2.2	41.0	1.7	4.6	77.0	.	.	.	61	1185	.	14	358
LOS1	1	NG	12	0.028	61.4	10.2	256.3	1.5	55.0	1.3	6.7	178.9	.	.	.	49	1596	.	14	373
LOS1	1	LD	12	0.028	61.4	10.2	256.3	2.1	43.0	1.8	4.9	81.9	.	.	.	62	1247	.	14	373
LOS1	1	NG	13	0.028	59.7	9.9	266.2	1.6	50.0	1.6	6.6	185.5	.	.	.	47	1643	.	14	387
LOS1	1	LD	13	0.028	59.7	9.9	266.2	2.4	40.0	1.8	4.9	86.8	.	.	.	60	1307	.	14	387
LOS1	1	NG	14	2.594	59.5	19.8	286.0	4.1	50.0	1.1	9.8	195.3	2.2	.	0.9	79	1722	2	28	414
LOS1	1	LD	14	2.594	59.5	19.8	286.0	4.1	37.0	1.2	7.9	17.7	2.8	.	0.9	84	1391	2	28	414
LOS1	1	NG	15	0.021	60.1	20.0	306.0	1.8	52.0	1.4	15.2	210.5	.	.	.	90	1818	.	28	443
LOS1	1	LD	15	0.021	60.1	20.0	306.0	1.8	42.0	1.4	12.0	106.7	.	.	.	122	1513	.	28	443
LOS1	1	NG	16	0.021	61.6	20.5	326.5	1.8	50.0	1.4	15.0	225.5	2.0	.	0.6	112	1930	2	30	473
LOS1	1	LD	16	0.021	61.6	20.5	326.5	1.8	46.0	1.5	13.2	119.9	3.0	.	0.8	128	1641	2	30	473
LOS1	1	NG	17	0.201	31.2	20.8	347.3	3.0	21.0	0.9	11.0	236.5	0.8	0.5	0.5	69	1999	1	15	488
LOS1	1	LD	17	0.201	31.2	20.8	347.3	2.6	22.0	0.9	10.8	130.7	1.5	0.9	0.9	108	1749	1	15	488
LOS1	1	NG	18	0.021	59.3	19.8	367.1	2.2	49.5	1.4	14.6	251.1	0.7	.	0.4	58	2057	2	28	516
LOS1	1	LD	18	0.021	59.3	19.8	367.1	2.5	50.0	1.7	15.3	146.0	1.9	.	0.8	132	1881	2	28	516
LOS1	1	NG	19	0.021	88.4	19.1	386.2	2.1	84.0	2.4	16.4	267.5	1.4	0.7	0.7	81	2138	1	40	555
LOS1	1	LD	19	0.021	88.4	19.1	386.2	2.1	80.5	2.5	15.5	261.3	2.2	1.1	1.1	189	2070	1	40	555
LOS1	1	NG	20	0.021	120.5	20.1	406.3	2.1	109.0	2.5	16.5	282.0	1.4	0.4	0.4	221	2115	1	57	612
LOS1	1	LD	20	0.021	120.5	20.1	406.3	2.1	90.0	2.5	14.0	175.3	3.4	0.9	0.9	119	2189	1	57	612
LOS1	1	CG	21	0.646	62.4	111.9	518.2	6.7	11.2	0.5	9.3	293.3	.	.	.	0	0	.	165	165
LOS1	1	CD	21	0.646	62.4	111.9	518.2	6.4	0.2	0.0	0.5	175.8	.	.	.	0	0	.	165	165

N= 42

KORHOGO

**SAS**

17:17 WEDNESDAY, FEBRUARY 3, 1988

21

16

NUM=7 SITE=KORHOGO

SOL	COUPLE	PARCELLE	AVERSE	TA	I	PU	SPU	PI	RX	DR	L	SL	CS	CX	CTU	E	SE	TY	EV	SEV
KOS1	1	NO	1	99.999	61.9	123.8	123.8	8.1	48.0	1.8	66.6	66.6	3.2	1.4	2.2	1214	1214	3	180	180
KOS1	1	LG	1	99.999	61.9	123.8	123.8	15.9	52.0	1.0	78.2	78.2	4.2	1.8	1.8	2210	2210	2	180	180
KOS1	1	NO	2	0.581	61.9	158.7	158.7	2.1	51.0	1.8	45.7	112.3	2.8	1.8	3.2	1120	2338	3	270	270
KOS1	1	LG	2	0.581	61.9	158.7	158.7	50.0	1.1	47.2	125.4	3.0	2.3	3.1	1297	3503	3	90	270	
KOS1	1	NO	3	0.191	55.4	18.5	204.2	0.9	45.0	2.1	12.0	124.3	3.4	1.4	1.4	214	2552	0	24	294
KOS1	1	LG	3	0.191	55.4	18.5	204.2	1.3	46.0	1.1	13.8	139.2	3.0	1.3	2.2	249	3756	3	24	294
KOS1	1	NO	4	0.021	60.8	20.3	224.5	1.7	54.0	2.2	15.0	139.3	.	.	.	235	2787	.	29	323
KOS1	1	LG	4	0.021	60.8	20.3	224.5	0.7	51.0	1.2	15.0	154.2	.	.	.	273	4029	.	29	323
KOS1	1	NO	5	5.727	104.2	45.6	270.1	3.6	85.0	1.9	28.6	167.9	3.4	1.3	2.6	504	3291	3	86	409
KOS1	1	LG	5	5.727	104.2	45.6	270.1	4.1	81.0	2.4	31.4	185.6	6.5	3.3	8.5	1276	5305	3	86	409
KOS1	1	NO	6	0.196	121.4	30.4	300.5	2.6	110.0	2.5	21.0	188.9	.	.	.	400	3691	.	69	478
KOS1	1	LG	6	0.196	121.4	30.4	300.5	1.7	100.0	2.3	20.0	205.1	.	.	.	1200	6505	.	69	478
KOS1	1	NO	7	0.021	121.9	30.5	331.0	2.0	115.0	4.3	25.8	214.7	4.8	1.4	1.2	410	4101	1	70	548
KOS1	1	LG	7	0.021	121.9	30.5	331.0	1.3	105.0	2.3	25.5	231.6	.	.	.	172	7777	5	70	548
KOS1	1	NO	8	3.916	90.8	67.8	388.8	3.7	76.0	2.6	44.6	255.7	3.2	1.4	2.3	835	4936	3	111	641
KOS1	1	LG	8	3.916	90.8	67.8	388.8	2.9	72.0	2.6	44.6	279.3	4.5	3.2	7.0	1908	9685	3	111	641
KOS1	1	NO	9	0.755	30.9	23.2	422.0	0.9	10.7	0.9	10.7	275.0	.	.	.	15	5099	3	15	674
KOS1	1	LG	9	0.755	30.9	23.2	422.0	2.4	15.9	0.6	9.0	284.7	2.9	2.2	2.7	210	9895	3	15	674
KOS1	1	NO	10	0.024	31.8	6.1	428.1	1.6	15.0	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
KOS1	1	LG	10	0.024	31.8	6.1	428.1	1.0	21.6	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
KOS1	1	NO	11	0.024	37.1	6.2	434.3	.	24.6	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
KOS1	1	LG	11	0.024	37.1	6.2	434.3	.	28.2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
KOS1	1	NO	12	0.024	23.8	4.0	438.3	.	16.8	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
KOS1	1	LG	12	0.024	23.8	4.0	438.3	.	16.2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
KOS1	1	NO	13	0.024	35.8	6.0	444.3	.	26.7	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
KOS1	1	LG	13	0.024	35.8	6.0	444.3	.	24.7	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
KOS1	1	NO	14	0.024	22.5	3.7	448.0	.	16.5	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
KOS1	1	LG	14	0.024	22.5	3.7	448.0	.	17.1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
KOS1	1	NO	15	0.024	30.3	26.0	448.0	.	.	0.9	16.2	286.2	.	.	.	.	.	.	15	690
KOS1	1	LG	15	0.024	30.3	26.0	448.0	.	.	0.6	17.6	302.3	.	.	.	.	.	.	15	690
KOS2	1	NO	1	99.999	60.2	120.4	120.4	16.4	26.0	1.3	34.4	34.4	1.0	0.3	0.3	138	138	1	270	270
KOS2	1	LG	1	99.999	60.2	120.4	120.4	21.1	16.3	0.6	17.3	17.3	1.2	0.9	0.9	188	188	1	270	270
KOS2	1	NO	2	0.649	58.4	29.2	149.6	5.0	25.5	1.4	9.1	43.5	0.7	0.2	0.2	26	164	1	40	310
KOS2	1	LG	2	0.649	58.4	29.2	149.6	1.8	20.0	0.5	8.7	29.8	0.8	0.8	0.8	66	254	6	40	310
KOS2	1	NO	3	0.043	57.2	28.6	178.2	5.2	31.5	1.8	13.0	56.5	0.5	0.2	0.2	28	192	1	38	348
KOS2	1	LG	3	0.043	57.2	28.6	178.2	1.8	30.0	0.8	12.6	42.4	1.6	0.8	0.9	110	364	1	38	348
KOS2	1	NO	4	0.182	55.2	13.8	192.0	5.1	21.0	1.3	3.2	59.7	0.7	.	0.3	19	211	2	18	366
KOS2	1	LG	4	0.182	55.2	13.8	192.0	1.8	22.2	0.7	7.2	49.6	2.1	.	1.0	53	417	2	18	366
KOS2	1	NO	5	0.021	64.0	16.0	208.0	4.9	37.5	1.8	6.2	65.9	0.5	0.3	0.3	22	233	1	24	390
KOS2	1	LG	5	0.021	64.0	16.0	208.0	1.6	46.0	1.0	7.9	57.5	3.5	.	0.9	28	445	2	24	390
KOS2	1	NO	6	0.021	62.0	15.5	223.5	3.9	38.5	2.2	7.0	72.9	0.7	0.3	0.3	24	257	1	23	413
KOS2	1	LG	6	0.021	62.0	15.5	223.5	1.4	39.0	1.1	8.2	65.7	2.1	1.1	1.7	130	575	3	22	413
KOS2	1	NO	7	0.920	5.0	0.3	229.8	0.3	0.0	.	0.0	72.0	.	.	.	0	257	.	0	413
KOS2	1	LG	7	0.920	5.0	0.3	229.8	6.3	0.0	.	0.0	65.7	.	.	.	0	575	.	0	413
KOS2	1	NO	8	5.010	5.0	5.3	235.1	5.2	.	.	0.1	73.0	.	.	.	0	257	.	1	414
KOS2	1	LG	8	5.010	5.0	5.3	235.1	3.7	.	.	1.6	67.3	.	.	.	0	575	.	1	414
KOS2	1	NO	9	0.835	111.6	83.7	318.8	9.1	76.5	2.9	35.2	108.2	1.0	0.2	0.2	80	337	1	174	588
KOS2	1	LG	9	0.835	111.6	83.7	318.8	3.9	75.0	2.4	41.0	108.3	.	.	3.1	1054	1629	0	174	588
KOS2	1	NO	10	0.166	118.4	29.6	348.4	6.6	72.0	3.2	12.6	120.8	1.2	0.2	0.2	25	362	1	65	535
KOS2	1	LG	10	0.166	118.4	29.6	348.4	2.0	87.0	1.7	12.2	120.5	4.1	0.9	0.9	393	2022	1	65	535
KOS2	1	NO	11	0.021	117.6	29.4	377.8	4.6	89.5	1.7	12.6	140.0	.	.	.	25	387	.	64	717
KOS2	1	LG	11	0.021	117.6	29.4	377.8	1.9	93.0	1.7	20.5	141.0	.	.	.	23	232	.	67	717
KOS2	1	NO	12	4.842	94.0	94.0	471.8	15.7	61.5	2.6	34.0	174.0	0.6	0.2	0.2	74	461	1	160	877
KOS2	1	LG	12	4.842	94.0	94.0	471.8	5.0	75.0	1.2	54.1	195.1	4.7	2.2	3.0	1265	3637	1	160	877



SAS

17:17 WEONESOAY, FEBRUARY 3, 1988

22

17

NUM=7 SITE=KORHOGO

SOL	COUPLE	PARCELLE	AVERSE	TA	I	PU	SPU	PT	RX	DR	L	SL	CS	CX	CTU	E	SE	TY	EV	SEV	
K052	1	ND	13	0.671	94.2	62.8	534.6	9.5	66.0	3.5	30.2	204.2	.	.	.	50	511	.	107	984	
K052	1	LG	13	0.671	94.2	62.8	534.6	1.8	75.0	1.5	45.0	240.1	.	.	.	845	4481	.	107	984	
K052	1	NO	14	1.323	112.8	86.5	621.1	12.7	79.0	3.3	40.7	244.9	0.5	0.2	0.2	76	587	1	182	1166	
K052	1	LG	14	1.323	112.8	86.5	621.1	11.0	96.0	2.0	52.5	292.6	6.4	.	1.7	1191	5672	2	182	1166	
K052	1	NO	15	0.621	30.4	45.6	666.7	17.5	15.0	1.1	10.4	255.3	0.4	0.2	0.2	27	614	1	29	1195	
K052	1	LG	15	0.621	30.4	45.6	666.7	2.2	19.0	0.6	21.8	314.4	1.1	0.7	0.8	162	5834	1	29	1195	
K052	1	NO	16	0.026	29.8	5.9	672.6	4.5	4.0	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
K052	1	LG	16	0.026	29.8	5.9	672.6	1.1	21.3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
K052	1	NO	17	0.026	35.7	8.9	681.5	.	21.0	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
K052	1	LG	17	0.026	35.7	8.9	681.5	.	25.0	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
K052	1	NO	18	0.026	24.1	6.0	687.5	.	12.9	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
K052	1	LG	18	0.026	24.1	6.0	687.5	.	15.0	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
K052	1	NO	19	0.026	35.0	8.7	696.2	.	21.0	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
K052	1	LG	19	0.026	35.0	8.7	696.2	.	27.6	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
K052	1	NO	20	0.026	23.7	5.9	702.1	.	12.0	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
K052	1	LG	20	0.026	23.7	5.9	702.1	.	14.3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
K052	1	NO	21	0.026	29.5	35.4	702.1	4.5	.	1.1	17.5	272.8	.	.	.	21	635	.	22	1217	
K052	1	LG	21	0.026	29.5	35.4	702.1	1.1	.	0.5	23.0	337.4	.	.	.	128	5962	.	22	1217	
K053	1	NO	1	99.999	6.3	6.3	6.3	6.3	0.0	.	0.0	0.0	.	.	.	0	0	.	1	1	
K053	1	LG	1	99.999	6.3	6.3	6.3	6.3	0.0	.	0.0	0.0	.	.	.	0	0	.	1	1	
K053	1	NO	2	3.080	62.1	124.3	130.6	9.8	27.6	1.0	37.3	37.3	3.9	0.6	0.6	390	390	1	182	183	
K053	1	LD	2	3.080	62.1	124.3	130.6	10.7	42.0	1.3	55.1	55.1	.	.	1.7	1100	1100	0	182	183	
K053	1	NO	3	0.641	60.3	60.3	190.9	4.7	29.0	1.0	23.6	60.9	2.5	0.6	0.6	157	547	1	86	269	
K053	1	LD	3	0.641	60.3	60.3	190.9	2.5	45.5	1.6	40.8	95.9	2.1	.	1.5	631	1731	0	86	269	
K053	1	NO	4	1.142	61.0	16.8	207.7	2.2	27.6	1.0	4.8	65.4	.	.	.	46	593	.	24	293	
K053	1	LO	4	1.142	61.0	16.8	207.7	2.2	46.5	1.1	10.4	106.3	.	.	.	240	1971	.	24	293	
K053	1	NO	5	0.001	5.3	5.3	213.0	5.3	0.0	.	0.0	65.4	.	.	.	0	593	.	1	294	
K053	1	LD	5	0.001	5.3	5.3	213.0	5.3	0.0	.	0.0	106.3	.	.	.	0	1971	.	1	294	
K053	1	NO	6	0.688	61.9	61.9	274.9	3.7	26.0	1.0	21.2	86.6	2.3	0.7	0.6	171	764	1	90	384	
K053	1	LO	6	0.688	61.9	61.9	274.9	2.2	53.5	1.6	49.2	155.5	3.0	1.7	2.9	1100	3071	3	90	384	
K054	1	NO	1	99.999	63.1	126.2	126.2	5.5	42.5	1.1	68.4	68.4	3.6	0.9	0.9	1009	1009	1	188	188	
K054	1	LG	1	99.999	63.1	126.2	126.2	22.7	45.0	0.9	49.1	49.1	.	.	1.6	2.1	770	770	6	188	188
K054	1	NO	2	0.566	59.2	59.2	185.4	2.5	45.5	1.1	41.4	109.8	1.7	0.8	0.8	340	1349	1	85	273	
K054	1	LD	2	0.566	59.2	59.2	185.4	2.7	45.5	1.2	38.6	87.7	.	.	2.5	813	1583	5	85	273	
K054	1	NO	3	0.187	62.3	20.8	206.2	2.6	39.8	1.1	10.9	120.7	.	.	.	91	1440	.	30	303	
K054	1	LG	3	0.187	62.3	20.8	206.2	1.9	45.9	1.0	11.1	98.8	.	.	.	266	1849	.	30	303	
K054	1	NO	4	0.021	62.7	20.9	227.1	2.5	42.7	1.1	12.7	133.4	1.4	0.9	0.9	110	1550	1	31	334	
K054	1	LG	4	0.021	62.7	20.9	227.1	1.7	49.9	1.1	14.8	113.6	.	.	.	401	2250	0	31	334	
K054	1	NO	5	3.083	118.9	79.3	306.4	3.6	99.2	1.8	59.1	192.5	3.7	0.7	0.5	663	2213	1	176	510	
K054	1	LD	5	3.083	118.9	79.3	306.4	4.9	91.5	1.6	53.7	167.3	.	.	.	1814	4064	0	176	510	
K054	1	NO	6	0.645	118.5	39.5	245.9	2.6	104.2	1.9	32.3	224.8	.	.	.	323	2536	.	87	597	
K054	1	LD	6	0.645	118.5	39.5	245.9	2.8	100.5	2.0	22.4	189.7	.	.	.	672	4736	.	87	597	
K054	1	NO	7	0.083	126.0	31.5	377.4	2.3	96.0	1.9	22.7	247.5	.	.	.	193	2729	.	74	671	
K054	1	LD	7	0.083	126.0	31.5	377.4	2.6	103.0	1.7	30.6	220.3	.	.	.	840	5576	.	74	671	
K054	1	NO	8	0.021	125.0	31.2	408.6	2.1	109.5	2.2	24.4	271.9	3.3	0.4	0.4	172	2901	1	73	744	
K054	1	LD	8	0.021	125.0	31.2	408.6	1.9	105.0	2.0	24.2	244.5	4.9	1.6	3.9	602	6178	3	56	800	
K054	1	NO	9	4.920	79.0	39.5	448.1	2.8	60.1	1.4	25.6	297.5	6.9	1.3	1.5	405	3306	1	55	855	
K054	1	LD	9	4.920	79.0	39.5	448.1	3.5	67.4	1.4	27.5	272.0	5.8	3.4	3.6	941	7019	1	55	855	
K054	1	NO	10	0.152	96.0	32.0	480.1	2.8	79.1	1.7	24.4	321.9	.	.	.	219	3525	.	20	875	
K054	1	LD	10	0.152	96.0	32.0	480.1	2.7	73.5	1.8	21.9	293.9	.	.	.	657	7676	.	20	875	
K054	1	NO	11	0.021	29.2	.	.	1.8	17.7	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
K054	1	LD	11	0.021	29.2	.	.	20.1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
K054	1	NO	12	0.021	25.0	.	.	.	12.0	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
K054	1	LD	12	0.021	25.0	.	.	.	13.3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	

SAS

17:17 WEONESOAY, FEBRUARY 3, 1988

23

18

NUM=7 SITE=KORHOGO

SOL	COUPLE	PARCELLE	AVERSE	TA	I	PU	SPU	PI	RX	DR	L	SL	CS	CX	CTU	E	SE	TY	EV	SEV
K054	1	NO	13	0.021	33.7	.	.	.	24.3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
K054	1	LG	13	0.021	33.7	.	.	.	28.2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
K054	1	NO	14	0.021	25.0	.	.	.	12.6	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
K054	1	LG	14	0.021	25.0	.	.	.	13.5	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
K054	1	NO	15	0.021	29.3	32.2	512.3	1.8	.	0.5	17.4	339.3	.	.	.	87	3612	.	20	875
K054	1	LD	15	0.021	29.3	32.2	512.3	1.5	.	0.4	19.7	313.6	.	.	.	295	7971	.	20	875
K055	1	NO	1	99.999	64.6	129.2	129.2	4.1	31.3	1.1	42.5	42.5	3.0	0.7	0.7	399	399	1	197	197
K055	1	LD	1	99.999	64.6	129.2	129.2	3.1	39.1	0.6	58.3	58.3	.	.	.	2474	2474	0	197	197
K055	1	NO	2	0.788	66.2	66.2	195.4	3.2	35.9	1.3	28.9	71.4	3.6	0.6	0.5	275	674	1	103	300
K055	1	LD	2	0.788	66.2	66.2	195.4	2.1	39.5	0.7	37.0	95.3	.	.	5.7	1787	4261	5	103	300
K055	1	NO	3	0.083	17.9	11.0	206.4	.	33.0	.	3.3	74.7	.	.	.	0	674	.	1	301
K055	1	LD	3	0.083	17.9	11.0	206.4	.	58.0	.	6.0	101.3	.	.	.	0	4261	.	1	301
K055	1	NO	4	0.598	62.2	20.7	227.1	3.6	39.2	1.5	10.0	84.7	.	.	.	80	754	.	30	331
K055	1	LD	4	0.598	62.2	20.7	227.1	2.4	42.5	0.6	11.8	113.1	.	.	.	590	4851	.	30	331
K055	1	NO	5	0.024	63.0	26.2	253.3	1.7	43.0	1.8	15.6	100.3	.	.	.	109	863	.	39	370
K055	1	LD	5	0.024	63.0	26.2	253.3	1.4	40.7	0.8	16.2	129.3	.	.	.	972	5823	.	39	370
K055	1	NO	6	2.031	122.5	61.2	314.5	3.7	81.0	2.6	35.8	136.1	3.9	0.5	0.5	264	1127	1	140	510
K055	1	LD	6	2.031	122.5	61.2	314.5	3.1	90.0	1.0	44.1	173.4	8.1	4.6	6.4	3047	8870	4	140	510
K055	1	NO	7	0.171	123.6	41.2	355.7	2.6	88.5	2.6	27.2	163.3	.	.	.	136	1263	.	95	605
K055	1	LD	7	0.171	123.6	41.2	355.7	2.3	96.5	0.9	31.4	204.8	.	.	.	2355	11225	.	95	605
K055	1	NO	8	0.022	129.7	43.2	398.9	2.3	95.0	2.9	25.8	189.1	3.3	0.2	0.2	91	1354	1	105	71

## SAKASSOU

SAS

17:17 WEDNESDAY, FEBRUARY 3, 1988

24

NUM=8 SITE=SAKASSOU

SOL	COUPLE	PARCELLE	AVERSE	TA	I	PU	SPU	PI	RX	DR	L	SL	CS	CX	CTU	E	SE	TY	EV	SEV
SAS1	1	NO	1	99.999	61.3	102.2	102.2	102.2	0.0	.	0.0	0.0	.	.	.	0	0	148	148	
SAS1	1	LG	1	99.999	61.3	102.2	102.2	44.6	33.0	.	18.2	18.2	.	.	1.8	562	562	6	148	148
SAS1	1	NO	2	0.072	3.4	6.8	109.0	6.8	0.0	.	0.0	0.0	.	.	.	0	0	1	149	
SAS1	1	LG	2	0.072	3.4	6.8	109.0	6.8	0.0	.	0.0	18.2	.	.	.	582	0	1	149	
SAS1	1	NO	3	0.670	61.6	92.4	201.4	5.5	2.0	.	1.3	1.3	.	.	.	33	33	134	283	
SAS1	1	LG	3	0.670	61.6	92.4	201.4	3.7	42.0	.	55.5	73.7	.	.	3.0	1533	2095	0	134	283
SAS1	1	NO	4	0.194	92.2	46.1	247.5	3.7	10.5	.	4.0	5.3	.	.	.	60	93	77	260	
SAS1	1	LG	4	0.194	92.2	46.1	247.5	1.9	76.5	.	35.0	108.7	.	.	.	1050	3145	77	260	
SAS1	1	NO	5	0.042	93.9	46.9	294.4	3.1	20.0	.	6.8	12.1	1.8	1.1	1.1	119	212	1	80	440
SAS1	1	LG	5	0.042	93.9	46.9	294.4	1.5	74.2	.	34.9	143.6	.	.	2.7	1261	4406	0	80	440
SAS1	1	NO	6	5.656	122.3	122.3	416.7	5.0	47.0	.	25.8	37.9	1.6	.	0.3	268	480	2	279	719
SAS1	1	LG	6	5.656	122.3	122.3	416.7	2.3	107.5	.	102.0	245.6	4.6	1.1	3.3	1897	6303	3	279	719
SAS1	1	NO	7	0.191	91.1	45.5	462.2	3.7	41.0	.	14.0	51.9	2.0	0.6	0.5	216	696	1	75	794
SAS1	1	LG	7	0.191	91.1	45.5	462.2	1.8	79.5	.	37.2	282.8	.	.	5.9	2224	8527	0	75	794
SAS1	1	NO	8	0.042	122.3	61.1	523.3	3.9	78.0	.	30.6	82.5	.	.	.	180	876	139	933	
SAS1	1	LG	8	0.042	122.3	61.1	523.3	1.8	99.5	.	49.8	332.6	.	.	.	1245	9772	139	933	
SAS1	1	NO	9	0.670	93.2	93.2	616.5	3.4	46.0	.	30.5	113.0	2.2	0.7	0.7	438	1314	1	157	1090
SAS1	1	LG	9	0.670	93.2	93.2	616.5	2.1	73.2	.	68.4	401.0	11.1	2.2	4.1	3030	12802	3	157	1090
SAS1	1	NO	10	0.229	62.3	31.1	647.6	4.1	18.0	.	5.5	118.5	.	.	.	50	1364	46	1136	
SAS1	1	LG	10	0.229	62.3	31.1	647.6	2.2	42.5	.	17.7	418.7	.	.	.	500	13302	46	1136	
SAS1	1	NO	11	0.021	48.9	.	.	2.9	14.5	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
SAS1	1	LG	11	0.021	48.9	.	.	1.4	30.0	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
SAS1	1	NO	12	0.021	32.0	.	.	.	1.5	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
SAS1	1	LG	12	0.021	32.0	.	.	.	13.5	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
SAS1	1	NO	13	0.021	54.6	.	.	.	14.1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
SAS1	1	LG	13	0.021	54.6	.	.	.	33.2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
SAS1	1	NO	14	0.021	32.9	.	.	.	2.7	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
SAS1	1	LG	14	0.021	32.9	.	.	.	14.7	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
SAS1	1	NO	15	0.021	41.9	69.9	717.5	2.9	.	.	10.7	129.2	.	.	.	116	1480	61	1197	
SAS1	1	LG	15	0.021	41.9	69.9	717.5	1.4	.	.	36.4	455.1	.	.	.	647	13949	61	1197	
SAS2	1	NO	1	99.999	62.6	119.2	119.2	117.0	5.7	0.1	0.2	0.2	.	.	.	90	90	176	176	
SAS2	1	LG	1	99.999	62.6	119.2	119.2	48.6	30.0	0.4	21.2	21.2	.	.	5.5	1220	1220	5	176	176
SAS2	1	NO	2	0.827	63.9	95.8	215.0	5.2	12.7	0.3	12.1	12.3	.	.	1.1	254	354	5	144	321
SAS2	1	LG	2	0.827	63.9	95.8	215.0	2.4	38.5	0.5	51.7	72.9	.	.	7.2	3483	4703	5	144	321
SAS2	1	NO	3	0.249	89.0	34.6	249.6	2.4	37.0	.	11.6	23.9	.	.	.	270	614	56	377	
SAS2	1	LG	3	0.249	89.0	34.6	249.6	1.5	78.2	.	27.4	100.3	.	.	.	2520	7223	56	377	
SAS2	1	NO	4	0.042	88.2	44.1	293.7	2.4	40.7	0.9	19.0	42.9	3.7	1.5	1.3	330	944	1	70	447
SAS2	1	LG	4	0.042	88.2	44.1	293.7	0.6	72.5	0.7	35.1	135.4	.	.	7.2	2520	9743	5	70	447
SAS2	1	NO	5	4.680	116.9	114.0	407.7	4.1	75.5	1.1	59.7	102.6	3.8	1.8	2.2	1450	2394	3	249	696
SAS2	1	LG	5	4.680	116.9	114.0	407.7	2.2	93.7	1.0	88.7	224.1	11.6	7.3	8.9	8047	17790	3	249	696
SAS2	1	NO	6	0.208	91.8	45.9	453.6	2.6	55.2	.	24.1	126.7	.	.	.	640	3034	76	772	
SAS2	1	LG	6	0.208	91.8	45.9	453.6	2.0	75.5	.	35.4	259.5	.	.	.	2352	20142	76	772	
SAS2	1	NO	7	0.042	121.1	60.5	514.1	2.2	85.5	.	39.1	165.8	.	.	.	780	3814	137	909	
SAS2	1	LG	7	0.042	121.1	60.5	514.1	1.8	109.5	.	51.8	311.3	.	.	.	4410	24552	137	909	
SAS2	1	NO	8	0.595	93.3	93.3	607.4	2.4	62.0	1.4	55.1	220.9	4.2	3.5	3.4	2005	5819	1	158	1087
SAS2	1	LG	8	0.595	93.3	93.3	607.4	1.6	74.7	0.9	71.8	383.1	.	.	9.4	6382	30934	5	158	1087
SAS2	1	NO	9	0.212	62.8	31.4	638.8	2.9	29.5	0.6	12.0	232.9	3.5	2.5	2.5	337	6156	1	46	1113
SAS2	1	LG	9	0.212	62.8	31.4	638.8	1.6	45.2	0.8	20.2	403.3	7.9	.	5.5	1249	32183	2	46	1113
SAS2	1	NO	10	0.021	64.8	32.4	671.2	2.1	33.2	0.8	15.0	247.9	.	.	.	408	6564	49	1162	
SAS2	1	LG	10	0.021	64.8	32.4	671.2	1.2	51.0	0.8	24.2	427.5	.	.	.	1579	33762	49	1162	
SAS2	1	NO	11	0.024	32.9	.	.	2.4	6.5	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
SAS2	1	LG	11	0.024	32.9	.	.	1.1	19.5	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
SAS2	1	NO	12	0.024	33.8	.	.	.	10.2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
SAS2	1	LG	12	0.024	33.8	.	.	.	20.7	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.

SAS

17:17 WEDNESDAY, FEBRUARY 3, 1988

25

NUM=8 SITE=SAKASSOU

SOL	COUPLE	PARCELLE	AVERSE	TA	I	PU	SPU	PI	RX	DR	L	SL	CS	CX	CTU	E	SE	TY	EV	SEV
SAS2	1	ND	13	0.024	26.4	.	.	.	4.2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
SAS2	1	LG	13	0.024	26.4	.	.	.	13.2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
SAS2	1	NO	14	0.024	35.5	37.3	708.5	2.4	.	0.1	6.7	254.6	.	.	1.3	155	6719	5	23	1185
SAS2	1	LG	14	0.024	35.5	37.3	708.5	1.1	.	0.3	17.1	444.6	.	.	2.8	566	34328	5	23	1185
SAS3	1	NO	1	99.999	63.0	73.9	73.9	73.9	.	.	0.0	0.0	.	.	.	0	0	110	110	
SAS3	1	LG	1	99.999	63.0	73.9	73.9	73.9	.	.	0.0	0.0	.	.	.	0	0	110	110	
SAS3	1	ND	2	0.075	62.5	62.5	136.4	62.5	.	.	0.0	0.0	.	.	.	0	0	92	202	
SAS3	1	LG	2	0.075	62.5	62.5	136.4	12.5	.	.	19.4	19.4	.	.	.	1169	1169	0	92	202
SAS3	1	NO	3	0.734	63.9	95.8	232.2	58.1	41.0	.	21.5	21.5	7.0	1.4	1.4	386	386	1	144	346
SAS3	1	LG	3	0.734	63.9	95.8	232.2	11.2	54.0	.	48.4	67.8	.	.	11.9	3895	5064	5	144	346
SAS3	1	NO	4	0.189	91.6	45.8	278.0	30.8	70.0	.	9.5	31.0	.	.	.	171	557	76	422	
SAS3	1	LG	4	0.189	91.6	45.8	278.0	7.1	82.5	.	28.4	96.2	.	.	.	2840	7904	76	422	
SAS3	1	NO	5	0.042	91.0	45.5	323.5	6.1	81.0	.	33.2	64.2	3.2	2.1	2.3	665	1222	1	75	497
SAS3	1	LG	5	0.042	91.0	45.5	323.5	1.5	87.0	.	40.4	136.6	.	.	21.2	7600	15504	5	75	497
SAS3	1	NO	6	4.781	112.4	105.4	428.9	43.1	97.5	.	34.0	98.2	2.6	0.7	0.7	356	1578	1	221	718
SAS3	1	LG	6	4.781	112.4	105.4	428.9	8.1	82.5	.	53.4	190.0	.	.	9.8	5456	20960	5	221	718
SAS3	1	NO	7	0.146	90.9	41.7	470.0	25.0	56.0	.	9.5	107.7	.	.	.	190	1768	68	786	
SAS3	1	LG	7	0.146	90.9	41.7	470.0	3.0	90.0	.	30.4	220.4	.	.	.	3200	24160	68	786	
SAS3	1	NO	8	0.583	10.0	1.4	472.0	1.4	.	.	0.0	107.7	.	.	.	0	1768	1	787	
SAS3	1	LG	8	0.583	10.0	1.4	472.0	1.4	.	.	0.0	220.4	.	.	.	0	24160	1	787	
SAS3	1	NO	9	0.913	90.0	45.0	517.0	6.2	25.0	.	7.0	114.7	5.4	.	4.9	237	2005	3	73	860
SAS3	1	LG	9	0.913	90.0	45.0	517.0	4.4	72.0	.	25.0	245.4	.	.	17.9	3665	27825	5	73	860
SAS3	1	NO	10	0.042	124.7	62.3	579.3	3.7	114.0	.	48.0	162.7	4.2	0.9	1.0	589	2594	1	145	1005
SAS3	1	LG	10	0.042	124.7	62.3	579.3	2.1	117.0	.	52.9	298.3	.	.	22.6	10246	38071	0	145	1005
SAS3	1	NO	11	0.664	64.5	64.5	643.8	26.4	49.0	.	16.4	178.7	3.8	1.3	1.3	239	2833	1	98	1103
SAS3	1	LG	11	0.660	64.5	64.5	643.8	4.9	54.5	.	32.3	330.6	.	.	16.0	4310	42381	5	98	1103
SAS3	1	NO	12	0.021	37.3	.	.	3.0	32.5	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
SAS3	1	LG	12	0.021	37.3	.	.	1.1	36.5	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
SAS3	1	NO	13	0.001	44.4	.	.	3.8	35.0	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
SAS3	1	LG	13	0.001	44.4	.	.	1.1	37.5	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
SAS3	1	NO	14	0.001	25.8	.	.	3.8	18.0	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
SAS3	1	LG	14	0.001	25.8	.	.	3.8	22.0	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
SAS3	1	NO	15	0.001	44.9	.	.	3.8	36.0	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
SAS3	1	LG	15	0.001	44.9	.	.	3.8	40.5	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
SAS3	1	NO	16	0.001	26.2	.	.	3.8	16.0	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
SAS3	1	LG	16	0.001	26.2	.	.	3.8	21.0	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
SAS3	1	NO	17	0.021	34.4	68.9	712.7	3.0	.	.	48.3	227.0	.	.	.	480	3313	.	43	1146
SAS3	1	LG	17	0.021	34.4	68.9	712.7	1.1	.	.	57.9	388.5	.	.	.	5795	48176	.	43	1146
SAS4	1	NG	1	99.999	50.9	92.5	92.5	66.3	0.1	.	0.1	0.1	.	.	.	0	0	104	104	
SAS4	1	LO	1	99.999	50.9	92.5	92.5	35.8	24.0	0.3	16.1	16.1	3.9	2.8	4.6	772	772	3	104	104
SAS4	1	NG	2	0.906	61.7	61.7	154.2	6.4	3.0	0.1	3.5	3.6	3.3	.	0.5	109	109	2	90	194
SAS4	1	LO	2	0.906	61.7	61.7	154.2	2.1	32.0	0.4	30.0	46.1	.	.	9.5	2852	3624	5	90	194
SAS4	1	NG	3	0.203	122.0	40.7	194.9	6.0	55.5	0.9	14.4	17.9	3.1	.	1.7	338	338	4	93	287
SAS4	1	LD	3	0.203	122.0	40.7	194.9	2.0	90.0	0.8	27.6	73.7	.	.	21.3	5009	8633	5	93	287
SAS4	1	NG	4	2.721	117.8	58.9	253.8	7.5	22.5	0.3	8.5	26.4	3.3	.	1.6	192	639	2	129	416
SAS4	1	LD	4	2.721	117.8	58.9	253.8	5.0	36.5	0.3	14.3	88.0	.	.	23.1	2970	11603	5	129	416
SAS4	1	NG	5	0.083	117.9	39.3	293.1	4.2	44.0	0.7	11.3	37.7	2.2	1.1	1.2	165	804	1	86	502
SAS4	1	LO	5	0.083	117.9	39.3	293.1	3.4	67.5	0.5	18.1	106.1	.	.	25.6	4562	16165	5	86	502
SAS4	1	NG	6	0.887	92.6	46.3	339.4	4.4	30.0	0.5	11.5	49.2	2.1	.	1.3	201	1005	2	78	580
SAS4	1	LD	6	0.887	92.6	46.3	339.4	3.6	54.0	0.6	22.5	128.6	.	.	22.6	5081	21245	5	78	580
SAS4	1	NG	7	0.203	91.0	45.5	384.9	3.1	61.5	0.5	26.1	154.7	.	.	.	4884	26129	5	75	655
SAS4	1	LD	7	0.203	91.0	45.5	384.9	3.1	61.5	0.5	26.1	154.7	.	.	.	4884	26129	5	75	655
SAS4	1	NG	8	0.021	89.4	22.3	407.2	4.2	36.0	0.7	6.2	68.8	2.7	.	1.6	130	1328	2	36	691
SAS4	1	LD	8	0.021	89.4	22.3	407.2	3.0	60.0	0.7	13.4	168.1	.	.	21.1	2727	28556	5	36	691



SAS

17:17 WEDNESDAY, FEBRUARY 3, 1988

26

NUM=8 SITE=SAKASSOU																			
SOL	COUPLE	PARCELLE	AVERSE	TA	I	PU	SPU	PI	RX	DR	L	SL	CS	CX	CTU	E	SE TY	EV	SEV
SAS4	1	NG	9	3.763	59.2	.	.	.	0.0	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
SAS4	1	LD	9	3.763	59.2	.	.	.	0.7	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
SAS4	1	NG	10	3.763	73.0	.	.	.	0.0	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
SAS4	1	LD	10	3.763	73.0	.	.	.	14.0	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
SAS4	1	NG	11	3.763	53.4	.	.	.	0.0	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
SAS4	1	LD	11	3.763	53.4	.	.	.	1.0	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
SAS4	1	NG	12	3.763	61.5	71.8	479.0	52.0	.	.	0.0	68.8	.	.	.	0	1328	.	101 792
SAS4	1	LD	12	3.763	61.5	71.8	479.0	20.5	.	0.1	2.8	170.9	6.0	4.3	6.6	334	29190	3	101 792
SAS4	1	NG	13	0.178	61.0	.	.	.	1.8	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
SAS4	1	LD	13	0.178	61.0	.	.	.	26.0	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
SAS4	1	NG	14	0.178	49.4	.	.	.	0.2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
SAS4	1	LD	14	0.178	49.4	.	.	.	17.7	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
SAS4	1	NG	15	0.178	68.4	.	.	.	9.0	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
SAS4	1	LD	15	0.178	68.4	.	.	.	35.0	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
SAS4	1	NG	16	0.178	60.6	60.6	539.6	11.7	.	.	1.6	70.4	5.8	.	1.3	52	1380	2	85 877
SAS4	1	LD	16	0.178	60.6	60.6	539.6	5.0	.	.	21.0	191.9	.	.	.	2694	31884	0	85 877
SAS4	1	NG	17	0.042	46.0	.	.	.	0.8	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
SAS4	1	LD	17	0.042	46.0	.	.	.	20.5	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
SAS4	1	NG	18	0.042	31.8	.	.	.	0.1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
SAS4	1	LD	18	0.042	31.8	.	.	.	7.5	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
SAS4	1	NG	19	0.042	43.3	.	.	.	0.3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
SAS4	1	LD	19	0.042	43.3	.	.	.	19.5	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
SAS4	1	NG	20	0.042	41.6	41.6	581.2	11.5	.	.	0.2	70.6	.	.	.	0	1380	.	36 913
SAS4	1	LD	20	0.042	41.6	41.6	581.2	3.1	.	.	13.7	205.6	.	.	.	1254	33138	0	36 913
SAS4	2	NG	1	99.999	63.0	126.0	126.0	96.8	.	.	0.1	0.1	.	.	.	0	0	.	187 187
SAS4	2	LD	1	99.999	63.0	126.0	126.0	20.4	31.0	0.4	28.0	28.0	.	.	4.7	1222	1222	5	187 187
SAS4	2	NG	2	0.892	62.7	62.7	188.7	11.1	3.1	0.1	1.7	1.8	.	0.9	0.8	44	44	6	93 280
SAS4	2	LD	2	0.892	62.7	62.7	188.7	2.1	37.2	0.6	33.9	61.9	.	.	6.6	1982	3204	5	93 280
SAS4	2	NG	3	0.210	120.6	60.3	249.0	4.8	40.5	1.1	14.0	15.8	3.1	1.1	1.5	229	273	3	134 416
SAS4	2	LD	3	0.210	120.6	60.3	249.0	1.8	93.0	1.2	44.6	106.5	.	.	.	5605	8809	0	134 416
SAS4	2	NG	4	2.760	122.1	61.0	310.0	9.3	31.5	0.8	8.8	24.6	1.5	0.7	0.9	106	379	4	139 555
SAS4	2	LD	4	2.760	122.1	61.0	310.0	4.5	93.2	1.0	40.5	147.0	.	.	11.8	4451	13260	5	139 555
SAS4	2	NG	5	2.054	61.2	51.0	361.0	14.6	5.0	0.2	2.0	26.6	.	.	0.4	21	400	0	73 628
SAS4	2	LD	5	2.054	61.2	51.0	361.0	2.9	33.7	0.6	25.8	172.8	.	.	5.8	2017	15270	7	73 628
SAS4	2	NG	6	0.134	61.8	30.9	391.9	5.0	10.4	0.3	2.7	29.3	0.8	0.6	0.5	22	422	1	45 673
SAS4	2	LD	6	0.134	61.8	30.9	391.9	1.9	39.0	0.5	16.0	188.8	.	.	6.0	1295	16572	5	45 673
SAS4	2	NG	7	0.042	44.9	.	.	.	3.4	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
SAS4	2	LD	7	0.042	44.9	.	.	.	24.0	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
SAS4	2	NG	8	0.042	30.5	.	.	.	2.0	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
SAS4	2	LD	8	0.042	30.5	.	.	.	12.0	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
SAS4	2	NG	9	0.042	46.6	.	.	.	9.5	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
SAS4	2	LD	9	0.042	46.6	.	.	.	28.5	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
SAS4	2	NG	10	0.042	30.7	.	.	.	2.5	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
SAS4	2	LD	10	0.042	30.7	.	.	.	13.5	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
SAS4	2	NG	11	0.042	38.2	50.9	442.8	4.3	.	0.1	5.0	34.3	.	.	.	47	469	.	37 710
SAS4	2	LD	11	0.042	38.2	50.9	442.8	1.5	.	0.2	23.5	212.3	.	.	.	1393	17965	.	37 710
SAS4	2	NG	12	0.632	95.1	47.5	490.3	3.8	36.0	1.1	12.2	46.5	1.3	0.6	0.6	115	584	4	82 792
SAS4	2	LD	12	0.632	95.1	47.5	490.3	1.8	71.0	1.0	35.1	247.4	.	.	9.8	3461	21426	5	82 792
SAS4	2	NG	13	0.044	90.0	30.0	520.3	2.8	40.0	1.3	9.7	56.2	1.7	.	.	108	682	2	49 841
SAS4	2	LD	13	0.044	90.0	30.0	520.3	1.5	70.5	1.0	22.3	269.7	.	.	9.0	2204	23630	5	49 841
SAS4	2	NG	14	0.042	125.2	31.3	551.6	3.1	62.3	2.1	12.4	68.6	1.5	.	0.6	94	786	2	73 914
SAS4	2	LD	14	0.042	125.2	31.3	551.6	1.8	108.0	1.3	24.0	293.7	6.3	5.3	12.9	2793	26423	3	73 914
SAH1	1	NG	1	3.000	63.1	63.1	63.1	63.1	0.0	0.0	0.0	0.0	.	.	.	0	0	.	94 94
SAH1	1	LD	1	3.000	63.1	63.1	63.1	63.1	0.0	0.0	0.0	0.0	.	.	.	0	0	.	94 94

SAS

17:17 WEDNESDAY, FEBRUARY 3, 1988

27

NUM=8 SITE=SAKASSOU																			
SOL	COUPLE	PARCELLE	AVERSE	TA	I	PU	SPU	PI	RX	DR	L	SL	CS	CX	CTU	E	SE TY	EV	SEV
SAH1	1	NG	2	0.992	64.7	86.3	149.4	41.9	29.0	1.6	13.8	13.8	1.2	0.2	0.2	50	50	1	131 165
SAH1	1	ND	2	0.992	64.7	86.3	149.4	34.7	5.3	0.2	2.4	2.4	.	.	0.1	1	1	.	131 165
SAH1	1	NG	3	0.229	62.3	31.2	180.6	31.2	1.9	0.1	0.1	13.9	.	.	.	1	51	.	46 211
SAH1	1	ND	3	0.229	62.3	31.2	180.6	8.9	0.5	0.1	0.1	2.5	.	.	.	1	2	.	46 211
SAH1	1	NG	4	0.012	62.3	31.2	211.8	8.1	33.5	2.2	10.6	24.5	.	.	0.2	17	68	.	46 257
SAH1	1	ND	4	0.012	62.3	31.2	211.8	5.4	9.5	0.5	2.5	5.0	.	.	0.2	3	5	.	46 257
SAH1	1	NG	5	0.599	83.5	27.8	239.6	20.9	0.0	0.0	0.0	24.5	.	.	.	0	68	.	42 299
SAH1	1	ND	5	0.599	83.5	27.8	239.6	7.1	0.8	0.0	0.2	5.2	.	.	.	1	6	.	42 299
SAH1	1	NG	6	0.014	86.4	28.8	268.4	4.6	45.0	2.7	8.4	32.9	.	.	.	10	78	.	42 341
SAH1	1	ND	6	0.014	86.4	28.8	268.4	4.3	23.2	1.1	3.2	8.4	.	.	.	3	9	.	42 341
SAH1	1	NG	7	0.014	88.5	29.5	297.9	4.8	66.0	3.5	15.7	48.6	.	.	0.2	19	97	.	47 388
SAH1	1	ND	7	0.014	88.5	29.5	297.9	3.9	31.5	1.5	6.7	15.1	.	.	0.2	7	16	.	47 388
SAH1	1	NG	8	0.183	63.6	31.8	329.7	27.8	6.3	0.4	0.6	49.2	.	.	.	1	98	.	48 436
SAH1	1	ND	8	0.183	63.6	31.8	329.7	6.6	2.0	0.1	0.2	15.3	.	.	.	0	16	.	48 436
SAH1	1	NG	9	0.028	61.1	30.6	360.3	12.4	38.0	2.4	9.2	58.4	.	.	0.1	13	111	.	44 480
SAH1	1	ND	9	0.028	61.1	30.6	360.3	6.0	10.8	0.1	2.3	17.6	.	.	0.1	3	19	.	44 480
SAH1	1	NG	10	3.142	6.4	6.4	366.7	6.4	.	.	0.0	58.4	.	.	.	0	111	.	1 481
SAH1	1	ND	10	3.142	6.4	6.4	366.7	6.4	.	.	0.0	17.6	.	.	.	0	19	.	1 481
SAH1	1	LG	11	2.664	61.4	61.4	61.4	8.1	50.0	1.2	31.0	31.0	5.6	2.5	2.5	936	936	1	89 89
SAH1	1	ND	11	2.664	61.4	61.4	428.1	51.5	1.5	0.1	0.3	17.9	.	.	.	1	20	.	89 570
SAH1	1	LG	12	0.780	62.8	31.4	92.8	1.7	50.0	1.2	23.8	54.8	2.9	1.8	1.6	428	1364	1	46 135
SAH1	1	ND	12	0.780	62.8	31.4	459.5	5.5	1.5	0.1	0.2	18.1	.	.	.	1	21	.	46 616
SAH1	1	LG	13	0.010	62.6	31.3	124.1	1.2	34.0	1.5	26.2	81.0	6.3	1.8	2.8	589	1953	3	46 181
SAH1	1	ND	13	0.010	62.6	31.3	429.8	3.8	9.7	0.4	2.5	20.6	.	.	0.1	2	23	.	46 662
SAH1	1	LG	14	0.213	32.9	22.0	146.1	1.0	25.5	0.8	14.3	95.3	.	.	2.5	302	2255	5	15 196
SAH1	1	ND	14	0.213	32.9	22.0	512.6	17.4	0.0	0.0	0.0	20.6	.	.	.	0	23	.	15 677
SAH1	1	LG	15	0.017	61.6	20.5	166.1	2.0	54.0	1.1	16.9	112.2	4.3	2.8	2.7	472	2727	1	30 226
SAH1	1	ND	15	0.017	61.6	20.5	533.3	3.5	4.3	0.2	0.5	21.1	.	.	.	1	24	.	30 707
SAH1	1	LG	16	0.017	87.1	19.3	185.4	1.4	84.4	1.2	17.0	129.2	5.7	3.3	3.3	454	3181	1	30 256
SAH1	1	ND	16	0.017	87.1	19.3	552.6	4.0	17.0	1.0	2.3	23.4	.	.	.	2	26	6	30 737
SAH1	1	LG	17	0.014	122.8	61.4	246.8	1.5	114.0	2.3	57.7	186.9	3.7	.	3.2	1754	4935	2	141 397
SAH1	1	ND	17	0.014	122.8	61.4	614.0	4.0	77.0	4.2	29.0	52.4	0.2	.	0.1	19	45	2	141 878
SAH1	1	LG	18	5.982	3.7	3.7	250.5	3.7	.	.	0.0	186.9	.	.	.	0	4935	.	1 398
SAH1	1	ND	18	5.982	3.7	3.7	617.7	3.7	.	.	0.0	52.4	.	.	.	0	45	.	1 879
SAH1	1	LG	19	0.014	3.5	3.5	250.5	3.5	.	.	0.0	186.9	.	.	.	0	4935	.	1 599
SAH1	1	LD	19	0.014	3.5	3.5	621.2	3.5	.	.	0.0	52.4	.	.	.	0	45	.	1 880
SAH1	1	LG	20	1.861	123.3	123.3	377.3	21.8	99.0	1.6	68.4	255.3	3.8	2.1	2.2	1546	6481	1	284 683
SAH1	1	ND	20	1.861	123.3	123.3	744.5	22.1	39.5	1.5	18.4	70.8	.	.	0.2	53	98	6	284 164
SAH1	1	LG	21	0.017	123.9	61.9	439.2	1.9	108.0	1.7	51.9	307.2	.	.	.	.	.	.	143 826
SAH1	1	ND	21	0.017	123.9	61.9	806.4	4.1	63.0	3.2	20.5	91.3	.	.	.	.	.	.	143 1307
SAH1	1	LG	22	0.014	125.4	57.8	497.0	1.8	109.5	1.7	48.2	355.3	.	.	.	.	.	.	135 961
SAH1	1	ND	22	0.014	125.4	57.8	864.2	5.0	63.0	3.3	20.0	111.3	.	.	.	.	.	.	135 1442
SAH1	1	LG	23	0.691	91.9	91.9	958.9	1.9	78.5	2.0	74.0	436.6	.	.	.	.	.	.	115 994
SAH1	1	ND	23	0.691	91.9	91.9	956.1	7.1	46.2	2.2	23.6	134.9	.	.	.	.	.	.	115 1595
SAH1	1	LG	24	0.014	91.8	45.9	634.8	1.4	81.5	1.7	39.9	470.2	.	.	.	.	.	.	76 1190
SAH1	1	ND	24	0.014	91.8	45.9	1002.0	4.3	52.0	2.7	17.5	152.4	.	.	.	.	.	.	76 1671
SAH1	1	LG	25	0.101	90.9	45.5	680.3	1.4	78.0	1.2	40.0	510.2	.	.	.	.	.	.	75 1265
SAH1	1	ND	25	0.101	90.9	45.5	1047.5	6.4	34.0	2.1	8.1	160.5	.	.	.	.	.	.	75 1746
SAH1	1	LG	26	0.014	63.1	63.1	743.4	1.2	50.5	1.1	49.9	560.1	.	.	.	.	.	.	94 1359
SAH1	1	ND	26	0.014	63.1	63.1	1110.6	4.1	25.5	1.8	18.6	179.1	.	.	.	.	.	.	94 1840
SAH2	1	NG	1	7.708	62.3	62.3	62.3	62.3	0.0	0.0	0.0	0.0	.	.	.	0	3	.	92 92
SAH2	1	ND	1	7.708	62.3	62.3	62.3	62.3	0.0	0.0	0.0	0.0	.	.	.	0	0	.	92 92
SAH2	1	NG	2	0.275	5.4	5.4	67.7	5.4	0.0	0.0	0.0	0.0	.	.	.	0	0	.	0 92
SAH2	1	ND	2	0.275	5.4	5.4	67.7	5.4	0.0	0.0	0.0	0.0	.	.	.	0	0	.	0 92

SAS

17:17 WEDNESDAY, FEBRUARY 3, 1988

23

NUM=8 SITE=SAKASSOU

SOL	COUPLE	PARCELLE	AVERSE	TA	I	PU	SPU	PI	RX	DR	L	SL	CS	CX	CTU	E	SE	TY	EV	SEV
SAH2	1	NG	3	0.500	62.5	83.4	151.1	83.4	0.0	0.0	0.0	0.0	.	.	.	0	0	.	123	215
SAH2	1	ND	3	0.500	62.5	83.4	151.1	83.4	0.0	0.0	0.0	0.0	.	.	.	0	0	.	123	215
SAH2	1	NG	4	0.198	88.3	58.9	210.0	17.5	1.5	0.1	0.3	0.3	.	.	.	1	1	.	94	309
SAH2	1	ND	4	0.198	88.3	58.9	210.0	9.7	2.0	0.1	0.4	0.4	.	.	.	1	1	.	94	309
SAH2	1	NG	5	0.028	88.2	58.8	268.8	15.1	1.6	0.1	0.7	1.0	.	.	.	1	2	.	94	403
SAH2	1	ND	5	0.028	88.2	58.8	268.8	6.2	10.0	0.3	4.0	4.4	.	.	.	16	17	.	94	403
SAH2	1	NG	6	0.683	89.0	44.7	313.5	25.4	2.0	0.1	0.2	1.2	.	.	.	0	2	.	72	475
SAH2	1	ND	6	0.683	89.0	44.7	313.5	7.7	5.0	0.2	1.6	5.0	.	.	.	0	19	.	72	475
SAH2	1	NG	7	0.014	117.0	19.5	333.0	6.3	3.0	0.1	0.2	1.4	.	.	.	1	3	.	43	517
SAH2	1	ND	7	0.014	117.0	19.5	333.0	5.1	13.0	0.4	1.0	6.0	.	.	.	4	23	.	43	517
SAH2	1	NG	8	0.014	121.6	20.3	353.3	7.3	2.5	0.1	0.2	1.6	.	.	.	0	3	.	46	563
SAH2	1	ND	8	0.014	121.6	20.3	353.3	5.3	17.0	0.5	1.3	7.3	.	.	.	5	28	.	46	563
SAH2	1	NG	9	0.014	121.6	20.3	373.6	6.2	2.6	0.1	0.3	1.9	.	.	.	1	4	.	46	609
SAH2	1	ND	9	0.014	121.6	20.3	373.6	5.3	16.0	0.5	1.2	8.5	.	.	.	5	33	.	46	609
SAH2	1	NG	10	0.190	121.9	45.7	419.3	8.4	2.6	0.1	0.4	2.3	.	.	.	0	4	.	105	714
SAH2	1	ND	10	0.190	121.9	45.7	419.3	6.6	15.0	0.4	1.8	10.4	.	.	.	7	40	.	105	714
SAH2	1	NG	11	0.015	87.1	19.4	438.7	5.3	2.1	0.1	0.2	2.5	.	.	.	1	5	.	31	745
SAH2	1	ND	11	0.015	87.1	19.4	438.7	4.8	11.3	0.3	1.0	11.4	.	.	.	4	44	.	31	745
SAH2	1	NG	12	0.014	88.4	19.6	458.3	4.6	2.1	0.1	0.2	2.7	.	.	.	0	2	.	31	776
SAH2	1	ND	12	0.014	88.4	19.6	458.3	4.8	11.3	0.3	1.1	12.5	.	.	.	0	49	.	31	776
SAH2	1	NG	13	0.014	86.1	10.9	469.2	4.7	2.0	0.1	0.1	2.8	.	.	.	0	5	.	17	793
SAH2	1	ND	13	0.014	86.1	10.9	469.2	4.7	3.6	0.1	0.2	12.7	.	.	.	1	50	.	17	793
SAH2	1	LG	14	6.611	61.5	61.5	61.5	38.8	28.0	0.7	6.9	6.9	2.1	.	1.1	104	104	2	89	89
SAH2	1	ND	14	6.611	61.5	61.5	530.7	61.5	0.0	0.0	0.0	12.7	.	.	.	0	50	.	89	882
SAH2	1	LG	15	0.962	62.0	31.0	92.5	3.4	40.3	0.9	18.4	25.3	1.9	1.0	1.1	172	276	1	45	134
SAH2	1	ND	15	0.962	62.0	31.0	561.7	31.0	0.0	0.0	0.0	12.7	.	.	.	0	50	.	45	927
SAH2	1	LG	16	0.010	62.6	31.3	123.8	2.4	40.0	0.9	19.1	44.4	1.2	0.8	0.9	58	434	1	46	181
SAH2	1	ND	16	0.010	62.6	31.3	593.0	5.8	0.0	0.0	0.0	12.7	.	.	.	0	50	.	46	974
SAH2	1	LG	17	0.229	29.8	19.9	143.7	2.6	16.0	0.5	8.5	52.9	1.6	1.0	1.0	81	515	1	12	193
SAH2	1	ND	17	0.229	29.8	19.9	612.9	19.9	0.0	0.0	0.0	12.7	.	.	.	0	50	.	12	986
SAH2	1	LG	18	0.014	59.5	19.9	163.6	2.2	44.5	1.0	13.7	66.6	1.3	0.8	0.8	110	625	1	28	221
SAH2	1	ND	18	0.014	59.5	19.9	632.8	5.1	0.3	0.1	0.1	12.8	.	.	.	1	51	.	28	1014
SAH2	1	LG	19	0.014	87.9	19.5	183.1	0.9	75.2	1.5	15.6	82.2	1.0	0.8	0.9	119	744	1	31	252
SAH2	1	ND	19	0.014	87.9	19.5	652.3	4.2	9.0	0.2	0.6	13.4	0.2	.	0.2	1	52	2	31	1045
SAH2	1	LG	20	0.017	9.7	9.7	192.8	.	.	.	4.2	86.4	.	.	.	0	744	.	0	252
SAH2	1	ND	20	0.017	9.7	9.7	662.0	9.7	.	.	0.0	13.4	.	.	.	0	52	.	0	1045
SAH2	1	LG	21	0.014	3.5	3.5	196.3	.	.	.	0.3	86.7	.	.	.	0	744	.	0	252
SAH2	1	ND	21	0.014	3.5	3.5	665.5	3.5	.	.	0.0	13.4	.	.	.	0	52	.	0	1045
SAH2	1	LG	22	0.583	122.7	122.7	319.0	2.4	97.0	2.1	.	190.5	1.4	0.6	1.3	833	1577	3	279	531
SAH2	1	ND	22	0.583	122.7	122.7	788.2	6.3	24.5	0.8	15.0	28.4	.	.	.	26	78	6	279	1324
SAH2	1	LG	23	0.016	122.5	61.2	380.2	2.2	102.0	1.6	49.7	240.2	.	.	.	400	1977	.	140	670
SAH2	1	ND	23	0.016	122.5	61.2	849.4	4.9	31.1	1.6	11.8	40.2	.	.	.	18	96	.	140	670
SAH2	1	LG	24	0.015	121.5	60.5	440.7	2.2	98.0	1.7	50.1	290.3	.	.	.	.	.	.	137	808
SAH2	1	ND	24	0.015	121.5	60.5	909.9	5.2	34.0	1.4	12.9	53.1	.	.	.	.	.	.	137	1601
SAH2	1	LG	25	0.083	90.6	68.0	508.7	2.3	76.5	1.6	49.7	340.0	.	.	.	.	.	.	111	919
SAH2	1	ND	25	0.083	90.6	68.0	977.9	6.0	21.7	0.9	8.7	61.8	.	.	.	.	.	.	111	1612
SAH2	1	LG	26	0.017	90.5	45.2	553.9	1.7	75.0	1.1	37.7	377.7	.	.	.	.	.	.	74	993
SAH2	1	ND	26	0.017	90.5	45.2	1023.1	5.0	24.5	0.9	9.2	71.0	.	.	.	.	.	.	74	1687
SAH2	1	LG	27	0.014	91.9	46.2	600.1	1.7	77.2	1.2	37.9	415.6	.	.	.	.	.	.	77	1070
SAH2	1	ND	27	0.014	91.9	46.2	1069.3	5.1	27.6	1.0	9.0	80.0	.	.	.	.	.	.	77	1763
SAH3	1	NG	1	4.851	64.4	64.4	64.4	64.4	0.0	0.0	0.0	0.0	.	.	.	0	0	.	98	98
SAH3	1	ND	1	4.851	64.4	64.4	64.4	64.4	0.0	0.0	0.0	0.0	.	.	.	0	0	.	98	98
SAH3	1	NG	2	0.756	61.4	61.4	125.8	43.0	37.5	1.7	9.1	9.1	.	.	.	4	4	.	89	187
SAH3	1	ND	2	0.756	61.4	61.4	125.8	42.3	43.5	1.3	9.5	9.5	.	.	.	4	4	.	89	187

SAS

17:17 WEDNESDAY, FEBRUARY 3, 1988

24

NUM=8 SITE=SAKASSOU

SOL	COUPLE	PARCELLE	AVERSE	TA	I	PU	SPU	PI	RX	DR	L	SL	CS	CX	CTU	E	SE	TY	EV	SEV
SAH3	1	NG	3	0.186	61.6	30.8	156.6	18.2	48.5	2.4	10.0	19.1	.	.	.	4	8	.	44	231
SAH3	1	ND	3	0.186	61.6	30.8	156.6	16.9	48.0	1.7	6.9	16.4	.	.	.	3	7	.	44	231
SAH3	1	NG	4	0.017	63.3	31.7	188.3	3.8	50.0	2.4	21.5	40.6	.	.	.	9	17	.	47	278
SAH3	1	ND	4	0.017	63.3	31.7	188.3	4.3	54.0	1.8	23.8	40.2	.	.	.	10	17	.	47	278
SAH3	1	NG	5										.	.	.			.		
SAH3	1	ND	5	0.685	119.4	19.9	208.2	10.0	0.0	0.0	0.0	40.2	.	.	.	0	17	.	44	322
SAH3	1	NG	6										.	.	.			.		
SAH3	1	ND	6	0.014	92.8	20.6	228.8	6.9	54.5	1.9	4.1	44.3	.	.	.	2	19	.	34	356
SAH3	1	NG	7										.	.	.			.		
SAH3	1	ND	7	0.014	83.3	21.0	249.9	4.9	48.8	2.0	12.6	56.9	.	.	.	4	23	.	31	387
SAH3	1	NG	8	0.757	31.1	20.7	209.0	20.7	0.0	0.0	0.0	40.6	.	.	.	0	17	.	13	291
SAH3	1	ND	8	0.014	31.1	20.7	270.6	1.8	24.0	1.0	13.1	70.0	.	.	.	5	28	.	13	400
SAH3	1	NG	9	0.014	61.4	20.5	229.5	5.8	40.3	2.2	5.4	46.0	.	.	.	2	19	.	30	321
SAH3	1	ND	9	0.014	61.4	20.5	291.1	2.5	55.5	2.1	15.8	85.8	.	.	.	6	34	.	30	430
SAH3	1	NG	10	0.015	89.8	20.0	249.5	3.3	79.5	3.8	14.9	60.9	.	.	.	6	25	.	32	353
SAH3	1	ND	10	0.015	89.8	20.0	311.1	2.5	89.0	3.0	17.1	102.9	.	.	.	7	41	.	32	462
SAH3	1	NG	11	0.015	124.4	20.7	270.2	3.3	111.0	4.1	15.6	76.5	.	.	.	7	41	.	32	462
SAH3	1	ND	11	0.015	124.4	20.7	331.8	2.9	121.3	4.2	17.8	120.7	.	.	.	7	48	.	48	510
SAH3	1	LG	12	1.899	58.8	58.8	58.8	20.9	41.5	0.7	20.3	20.3	4.2	2.0	2.1	409	409	1	81	81
SAH3	1	ND	12	1.899	58.8	58.8	390.6	35.7	36.3	1.3	7.1	127.8	0.6	0.1	0.2	15	63	1	81	591
SAH3	1	LG	13	0.898	61.2	30.6	89.4	2.1	46.0	0.9	21.1	41.4	2.2	1.4	1.9	320	729	3	44	125
SAH3	1	ND	13	0.898	81.2	30.6	421.2	20.1	0.0	0.0	0.0	127.8	.	.	.	0	63	.	44	635
SAH3	1	LG	14	0.010	81.1	30.6	120.0	1.7	46.0	0.8	22.2	63.6	2.3	2.0	2.4	426	1155	3	44	679
SAH3	1	ND	14	0.010	61.1	30.6	45.8	9.3	48.7	0.7	11.8	139.6	0.2	0.1	0.1	5	68	1	44	169
SAH3	1	LG	15	0.217	60.9	10.2	130.2	2.0	45.5	0.8	68.0	139.6	.	.	.	11	12	.	15	184
SAH3	1	ND	15	0.217	60.9	10.2	462.4	10.2	0.0	0.0	0.0	139.6	.	.	.	0	68	.	15	694
SAH3	1	LG	16	0.014	59.4	9.9	140.1	1.6	46.5	0.7	6.6	76.5	.	.	.	115	1385	.	14	198
SAH3	1	ND	16	0.014	59.4	9.9	471.9	9.9	0.0	0.0	0.0	139.6	.	.	.	0	68	.	14	198
SAH3	1	LG	17	0.014	59.4	9.9	150.0	1.5	46.5	0.7	6.7	83.2	.	.	.	116	1501	.	14	212
SAH3	1	ND	17	0.014	59.4	9.9	481.8	7.0	12.8	0.5	0.9	140.5	.	.	.	0	68	.	14	722
SAH3	1	ND	18	0.014	59.7	9.9	159.9	1.5	47.0	0.9	6.8	90.0	.	.	.	117	1618	.	14	226
SAH3	1	ND	18	0.014	59.7	9.9	491.7	4.2	42.0	1.7	4.1	144.6	.	.	.	2	70	.	14	736
SAH3	1	LG	19	0.014	60.2	10.0	69.9	1.8	48.3	0.8	7.1	151.1	.	.	.	12	1732	.	14	240
SAH3	1	ND	19	0.014	60.2	10.0	501.7	3.1	52.3	2.0	5.9	150.5	.	.	.	2	32	.	14	750
SAH3	1	ND	20	0.014	61.5	20.5	190.4	11.7	49.0	0.8	15.1	112.2	3.1	2.5	3.5	383	2121	3	30	270
SAH3	1	ND	20	0.014	81.5	20.5	522.2	2.9	51.0	1.7	14.5	165.0	.	.	.	3	75	0	30	780
SAH3	1	LG	21	0.589	90.8	75.7	266.1	2.0	79.9	1.4	65.4	177.6	7.7	5.8	6.5	3474	5595	3	124	394
SAH3	1	ND	21	0.589	90.8	75.7	597.9	7.8	82.0	2.8	35.6	200.6	0.2	0.1	0.1	14	89	1	124	904

SAS

17:17 WEDNESDAY, FEBRUARY 3, 1988

30  
25

NUM=9 SITE=TAI

SOL	COUPLE	PARCELLE	AVERSE	TA	I	PU	SPU	PI	RX	DR	L	SL	CS	CX	CTU	E	SE	TY	EV	SEV
TAS1	1	CG	5	0.021	62.0	31.0	356.2	1.8	36.8	1.9	12.4	66.9	.	.	0.3	31	100	5	45	488
TAS1	1	LD	5	0.021	62.0	31.0	356.2	2.5	15.9	0.9	4.2	18.0	1.6	1.0	1.1	40	245	1	45	488
TAS1	1	CG	6	0.653	119.9	109.9	466.1	4.0	99.7	3.7	57.9	124.8	.	.	0.4	320	420	5	246	734
TAS1	1	LD	6	0.653	119.9	109.9	466.1	2.7	54.3	2.0	32.2	50.2	3.4	2.1	3.4	802	1047	1	246	734
TAS1	1	CG	7	0.167	91.4	45.7	511.8	3.0	65.0	2.5	16.5	141.3	.	.	.	48	468	0	75	809
TAS1	1	LD	7	0.167	91.4	45.7	511.8	2.4	32.2	0.8	10.0	60.2	.	.	.	169	1216	0	75	809
TAS1	1	CG	8	0.042	121.8	40.6	552.4	2.5	96.0	3.6	22.0	163.3	1.6	0.3	0.3	58	526	1	92	901
TAS1	1	LD	8	0.042	121.8	40.6	552.4	1.9	59.6	1.5	13.3	73.5	.	.	3.7	337	1553	5	92	901
TAS1	1	CG	9	0.713	90.4	45.2	597.6	3.5	38.6	1.3	8.7	172.0	.	.	.	15	541	0	74	975
TAS1	1	LD	9	0.713	90.4	45.2	597.6	2.0	30.0	0.7	10.7	84.2	3.2	2.1	1.5	203	1756	1	74	975
TAS1	1	CG	10	0.084	60.4	30.2	627.8	4.3	30.0	1.0	5.7	177.7	0.2	0.1	0.1	3	544	1	43	1018
TAS1	1	LD	10	0.084	60.4	30.2	627.8	1.9	16.5	0.6	6.1	90.3	1.3	0.8	1.0	49	1805	1	43	1018
TAS1	1	CG	11	0.021	32.2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
TAS1	1	LD	11	0.021	32.2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
TAS1	1	CG	12	0.021	26.5	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
TAS1	1	LD	12	0.021	26.5	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
TAS1	1	CG	13	0.021	40.5	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
TAS1	1	LD	13	0.021	40.5	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
TAS1	1	CG	14	0.021	26.0	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
TAS1	1	LD	14	0.021	26.0	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
TAS1	1	CG	15	0.021	39.5	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
TAS1	1	LD	15	0.021	39.5	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
TAS1	1	CG	16	0.021	32.2	48.3	676.1	2.4	.	1.0	13.1	190.8	.	0.2	0.2	20	564	.	32	1050
TAS1	1	LD	16	0.021	32.2	48.3	676.1	1.4	.	0.6	11.2	101.5	.	1.1	1.1	99	1904	.	32	1050
TAS1	1	CG	17	1.380	.	10.0	686.1	.	0.0	.	0.0	190.8	.	.	.	0	564	.	0	1050
TAS1	1	LD	17	1.380	.	10.0	686.1	.	0.0	.	0.0	101.5	.	.	.	0	1904	.	0	1050
TAS1	1	CG	18	0.810	.	8.0	694.1	.	0.0	.	0.0	190.8	.	.	.	0	564	.	0	1050
TAS1	1	LD	18	0.810	.	8.0	694.1	.	0.0	.	0.0	101.5	.	.	.	0	1904	.	0	1050
TAS1	1	CG	19	2.005	.	4.7	698.8	.	0.0	.	0.0	190.8	.	.	.	0	564	.	0	1050
TAS1	1	LD	19	2.005	.	4.7	698.8	.	0.0	.	0.0	101.5	.	.	.	0	1904	.	0	1050
TAS1	1	CG	20	2.533	58.8	127.4	826.2	16.1	20.8	0.8	18.1	208.9	.	0.1	0.4	29	593	6	176	1226
TAS1	1	LD	20	2.533	58.8	127.4	826.2	3.0	22.5	0.6	31.9	133.4	.	.	1.3	259	2163	5	176	1226
TAS1	1	CG	21	0.167	118.9	39.6	865.8	2.7	63.7	2.1	12.7	221.6	.	.	.	54	647	0	88	1314
TAS1	1	LD	21	0.167	118.9	39.6	865.8	2.0	59.0	1.3	18.0	151.4	.	.	.	505	2668	0	88	1314
TAS1	1	CG	22	0.083	33.7	22.5	888.3	4.1	4.4	0.2	2.1	223.7	.	0.3	0.2	5	652	6	16	1330
TAS1	1	LD	22	0.083	33.7	22.5	888.3	1.4	8.6	0.4	5.9	157.3	.	1.2	1.1	64	2732	6	16	1330
TAS1	1	CG	23	1.458	60.9	60.9	949.2	6.4	13.3	0.4	5.5	229.2	.	.	0.9	35	687	5	87	1417
TAS1	1	LD	23	1.458	60.9	60.9	949.2	2.0	24.4	0.6	21.2	178.5	1.8	1.2	1.1	238	2970	1	87	1417
TAS1	1	CG	24	0.167	31.9	21.3	970.5	4.5	7.7	0.1	1.6	230.8	0.9	0.3	0.3	8	695	2	14	1431
TAS1	1	LD	24	0.167	31.9	21.3	970.5	1.4	10.6	0.3	6.2	184.7	.	1.1	1.2	67	3037	6	14	1431
TAS1	1	CG	25	0.021	59.9	19.9	990.5	2.3	18.7	0.8	4.5	235.3	1.1	0.3	0.3	23	718	4	28	1459
TAS1	1	LD	25	0.021	59.9	19.9	990.5	1.5	27.7	0.8	8.5	193.2	.	.	.	95	3132	0	28	1459
TAS1	1	CG	26	0.024	87.4	19.4	1009.9	2.0	43.1	1.4	6.5	241.8	0.9	0.5	0.6	34	752	1	31	1490
TAS1	1	LD	26	0.024	87.4	19.4	1009.9	1.4	52.8	1.0	10.2	203.4	.	.	.	243	3375	0	31	1490
TAS1	1	CG	27	0.021	118.7	19.8	1029.7	2.0	69.7	2.3	8.8	250.6	.	.	.	40	792	0	44	1534
TAS1	1	LD	27	0.021	118.7	19.8	1029.7	1.6	82.1	1.4	11.7	215.1	2.9	.	2.5	234	3609	2	44	1534
TAS1	1	CG	28	0.083	92.4	46.2	1075.9	2.2	59.5	2.5	20.8	271.4	1.7	0.3	0.8	90	882	3	77	1611
TAS1	1	LD	28	0.083	92.4	46.2	1075.9	1.7	57.4	1.0	26.4	241.5	3.3	1.9	1.8	508	4117	1	77	1611
TAS1	1	CG	29	0.626	60.2	60.2	1136.1	2.9	24.0	0.9	12.8	284.2	.	0.6	0.4	7	958	6	85	1696
TAS1	1	LD	29	0.626	60.2	60.2	1136.1	1.5	1.1	0.8	26.0	267.5	1.5	1.0	0.9	265	4382	1	85	1696
TAS1	1	CG	30	0.083	119.8	20.0	1156.0	2.4	57.1	1.5	6.2	290.4	2.7	0.5	0.5	32	890	1	45	1741
TAS1	1	LD	30	0.083	119.8	20.0	1156.0	1.7	81.9	1.5	12.2	279.7	3.1	1.8	2.5	222	4604	3	45	1741
TAS1	1	CG	31	0.021	89.3	19.8	1175.8	1.8	45.3	1.4	7.5	297.9	0.7	0.3	0.3	21	1011	1	32	1773
TAS1	1	LD	31	0.021	89.3	19.8	1175.8	1.5	61.9	1.2	11.8	291.5	3.9	1.5	1.6	204	4808	1	32	1773

SAS

17:17 WEDNESDAY, FEBRUARY 3, 1988

26

NUM=9 SITE=TAI

SOL	COUPLE	PARCELLE	AVERSE	TA	I	PU	SPU	PI	RX	DR	L	SL	CS	CX	CTU	E	SE	TY	EV	SEV
TAS1	1	CG	32	0.021	60.4	20.1	1195.9	2.0	27.7	1.1	6.2	304.1	0.6	0.2	0.2	14	1025	1	29	1802
TAS1	1	LD	32	0.021	60.4	20.1	1195.9	1.4	29.5	0.7	8.6	300.1	1.4	0.9	0.9	77	4885	1	29	1802
TAS1	1	CG	33	0.021	32.2	21.5	1217.4	1.8	7.8	0.3	4.0	308.1	.	0.2	0.2	8	1033	6	14	1816
TAS1	1	LD	33	0.021	32.2	21.5	1217.4	1.2	9.0	0.3	5.0	305.1	.	1.0	0.9	27	4912	6	14	1816
TAS1	1	CG	34	0.042	59.2	29.6	1247.0	2.5	25.5	1.0	8.5	316.6	0.6	0.2	0.2	21	1054	1	28	1844
TAS1	1	LD	34	0.042	59.2	29.6	1247.0	1.5	36.4	1.0	15.5	320.6	1.9	0.9	0.9	145	5057	1	28	1844
TAS1	1	CG	35	0.838	60.6	121.2	1368.2	3.3	34.3	1.5	44.7	361.3	.	0.2	0.2	110	1164	6	173	2017
TAS1	1	LD	35	0.838	60.6	121.2	121.2	23.3	31.4	0.8	34.1	34.1	4.6	2.2	2.7	799	799	3	173	2017
TAS3	1	CG	1	7.000	10.0	11.0	11.0	11.0	0.0	.	0.0	0.0	.	.	.	0	0	.	0	0
TAS3	1	LD	1	7.000	10.0	11.0	11.0	11.0	0.0	.	0.0	0.0	.	.	.	0	0	.	0	0
TAS3	1	CG	2	0.441	61.8	92.7	103.7	2.7	10.4	0.4	9.3	9.3	1.2	0.2	0.2	25	25	1	135	135
TAS3	1	LD	2	0.441	61.8	92.7	103.7	3.5	35.7	0.5	34.2	34.2	.	.	22.0	6057	6057	5	135	135
TAS3	1	CG	3	0.368	10.0	7.1	110.8	7.1	0.0	.	0.0	9.3	.	.	.	0	25	.	0	135
TAS3	1	LD	3	0.368	10.0	7.1	110.8	7.1	0.0	.	0.0	34.2	.	.	.	0	6057	.	0	135
TAS3	1	CG	4	0.542	58.5	58.5	169.3	2.9	19.9	0.8	13.7	23.0	2.8	0.2	0.3	28	53	1	81	216
TAS3	1	LD	4	0.542	58.5	58.5	169.3	1.0	42.4	0.8	40.8	75.0	15.8	15.4	6264	12321	6	81	216	
TAS3	1	CG	5	0.167	59.6	40.7	210.0	2.9	25.8	1.2	12.1	35.1	0.9	.	0.1	29	82	2	57	273
TAS3	1	LD	5	0.167	59.6	40.7	210.0	0.9	44.7	0.6	28.8	103.8	.	13.8	13.8	3774	16095	6	57	273
TAS3	1	CG	6	0.021	61.0	30.5	240.5	1.9	31.4	1.6	12.2	47.3	0.8	0.3	0.2	30	112	1	44	317
TAS3	1	LD	6	0.021	61.0	30.5	240.5	0.8	45.0	0.8	21.8	125.6	17.7	.	10.6	2976	1	44	317	
TAS3	1	CG	7	0.732	121.2	80.8	321.3	4.4	73.8	2.2	40.3	87.6	2.1	0.3	0.3	229	341	1	183	500
TAS3	1	LD	7	0.732	121.1	80.8	321.3	1.7	105.5	1.0	69.4	195.0	.	18.2	15.7	12516	31587	6	183	500
TAS3	1	CG	8	0.167	88.6	44.3	365.6	2.6	54.0	2.2	20.3	107.9	1.5	0.2	0.2	52	393	1	71	571
TAS3	1	LD	8	0.167	88.6	44.3	365.6	0.9	76.6	1.1	36.5	231.5	24.1	16.8	19.1	5946	37533	1	71	571
TAS3	1	CG	9	0.042	121.2	40.4	406.0	2.9	91.2	3.8	25.4	133.3	1.0	0.3	0.3	76	469	1	91	662
TAS3	1	LD	9	0.042	121.2	40.4	406.0	0.8	107.1	1.5	34.7	266.2	.	22.2	22.1	7315	44848	6	91	662
TAS3	1	CG	10	0.222	10.0	3.0	409.0	3.0	0.0	.	0.0	123.3	.	.	.	0	469	.	0	662
TAS3	1	LD	10	0.222	10.0	3.0	409.0	3.0	0.0	.	0.0	0.0	0.2	.	.	0	469	.	0	662
TAS3	1	CG	11	0.521	91.0	45.5	454.5	2.6	43.2	1.8	17.5	150.8	1.8	0.3	0.3	53	522	1	75	737
TAS3	1	LD	11	0.521	91.0	45.5	454.5	1.0	74.5	1.0	35.2	301.4	.	.	.	5487	50335	0	75	737
TAS3	1	CG	12	0.090	59.9	30.4	484.9	1.5	28.5	1.3	10.9	161.7	1.9	0.3	0.2	34	556	1	42	780
TAS3	1	LD	12	0.090	59.9	30.4	484.9	0.9	43.7	0.6	20.4	321.8	.	.	15.3	2796	5313	5	42	780
TAS3	1	CG	13	0.021	32.5	17.9	502.8	1.8	12.5	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
TAS3	1	LD	13	0.021	32.5	17.9	502.8	0.7	22.7	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
TAS3	1	CG	14	0.001	25.0	4.1	506.9	.	10.4	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
TAS3	1	LD	14	0.001	25.0	4.1	506.9	.	17.2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
TAS3	1	CG	15	0.001	41.5	6.9	513.8	.	19.9	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
TAS3	1	LD	15	0.001	41.5	6.9	513.8	.	31.7	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
TAS3	1	CG	16	0.001	28.0	4.7	518.5	.	11.5	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
TAS3	1	LD	16	0.001	28.0	4.7	518.5	.	19.0	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
TAS3	1	CG	17	0.001	42.5	7.1	525.6	.	22.0	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
TAS3	1	LD	17	0.001	42.5	7.1	525.6	.	30.0	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
TAS3	1	CG	18	0.021	33.4	40.7	525.6	1.8	.	1.5	15.7	177.4	.	.	.	40	596	.	23	802
TAS3	1	LD	18	0.021	33.4	40.7	525.6	0.7	.	0.6	27.3	7.1	.	.	.	4500	57631	.	23	802
TAS3	1	CG	19	7.657	.	79.2	595.6	.	.	.	.	187.4	.	.	.	6	656	.	29	831
TAS3	1	LD	19	7.657	.	79.2	595.6	.	.	.	.	20.0	369.1	.	.	5000	62631	.	29	831
TAS3	1	CG	20	1.646	10.0	3.0	598.6	.	0.0	0.0	0.0	187.4	.	.	.	0	656	.	0	831
TAS3	1	LD	20	1.646	10.0	3.0	598.6	.	0.0	0.0	0.0	369.1	.	.	.	0	62631	.	0	831
TAS3	1	CG	21	0.014	60.7	40.5	639.1	2.0	16.1	0.8	7.6	195.0	1.4	0.1	0.1	12	668	1	57	888
TAS3	1	LD	21	0.014	60.7	40.5	639.1	1.0	49.2	0.7	31.3	400.4	16.7	13.3	13.2	4054	66685	1	57	888
TAS3	1	CG	22	0.187	120.0	30.0	669.1	2.4	65.2	0.4	12.8	207.8	1.3	0.4	0.3	47	715	1	67	956
TAS3	1	LD	22	0.187	120.0	30.0	669.1	1.0	109.6	2.5	26.3	426.7	26.1	.	1.9	3756	7047	0	67	956
TAS3	1	CG	23	0.085	35.7	20.8	689.9	3.8	8.3	0.4	3.3	21.1	.	.	.	6	719	0	17	970
TAS3	1	LD	23	0.085	35.7	20.8	689.9	0.7	22.9	0.3	12.4	439.1	13.8	.	5.9	1108	71619	2	15	970

SAS

17:17 WEDNESDAY, FEBRUARY 3, 1988

32

NUM=9 SITE=TAI

SOL	COUPLE	PARCELLE	AVVERSE	TA	I	PU	SPU	PI	RX	DR	L	SL	CS	CX	CTU	E	SE	TY	EV	SEV	
TAS3	1	CG	24	1.112	10.0	6.0	695.9	.	0.0	.	0.0	211.1	.	.	.	0	719	.	0	971	
TAS3	1	LD	24	1.112	10.0	6.0	695.9	.	0.0	.	0.0	439.1	.	.	.	0	71619	.	0	971	
TAS3	1	CG	25	0.536	61.0	25.4	721.3	2.8	15.3	0.7	4.3	215.4	0.9	0.3	0.1	13	732	1	36	1007	
TAS3	1	LD	25	0.536	61.0	25.4	721.3	1.0	46.5	0.8	17.8	456.9	.	9.8	9.4	1668	73287	6	36	1007	
TAS3	1	CG	26	0.167	33.0	22.0	743.3	2.5	6.7	0.4	3.1	218.5	.	.	.	10	742	0	15	1023	
TAS3	1	LD	26	0.167	33.0	22.0	743.3	0.9	23.3	0.5	14.3	471.2	10.0	.	6.6	1122	74409	2	15	1023	
TAS3	1	CG	27	0.021	63.6	21.2	764.4	2.4	27.7	1.5	7.4	225.9	1.1	0.2	0.3	19	761	1	32	1054	
TAS3	1	LD	27	0.021	63.6	21.2	764.4	0.7	51.2	0.9	16.4	487.6	11.9	10.4	10.5	1612	76021	1	32	1054	
TAS3	1	CG	28	0.021	88.2	19.6	784.0	1.9	51.1	2.1	9.0	234.9	1.4	0.3	0.2	28	789	1	32	1086	
TAS3	1	LD	28	0.021	88.2	19.6	784.0	0.8	75.5	1.1	15.9	503.5	18.5	12.4	12.3	1588	77609	1	32	1086	
TAS3	1	CG	29	0.021	126.7	21.1	805.1	2.1	87.7	3.3	11.5	246.4	0.9	0.2	0.3	21	810	1	50	1136	
TAS3	1	LD	29	0.021	126.7	21.1	805.1	0.9	111.0	1.7	17.9	521.4	.	.	.	15.8	2304	79913	5	50	1136
TAS3	1	CG	30	0.062	88.9	22.2	827.3	2.1	55.5	2.4	10.6	257.0	0.9	0.2	0.2	22	832	1	36	1171	
TAS3	1	LD	30	0.062	88.9	22.2	827.3	0.7	76.7	1.3	16.2	539.6	16.6	10.5	11.2	2052	81965	1	36	1171	
TAS3	1	CG	31	0.635	61.3	25.5	852.8	2.4	22.4	0.9	7.3	264.3	0.9	0.1	0.2	11	843	1	37	1208	
TAS3	1	LD	31	0.635	61.3	25.5	852.8	0.9	47.7	0.7	18.7	558.3	12.1	8.0	6.7	1452	83417	1	37	1208	
TAS3	1	CG	32	0.090	121.2	20.2	873.0	2.9	72.6	2.7	9.6	273.9	0.7	.	0.2	19	862	2	46	1254	
TAS3	1	LD	32	0.090	121.2	20.2	873.0	0.9	104.6	1.4	16.9	575.2	.	.	.	2107	85524	0	46	1254	
TAS3	1	CG	33	0.021	89.2	19.8	892.8	1.8	55.5	2.5	9.7	283.6	1.1	0.2	0.3	18	880	1	32	1286	
TAS3	1	LD	33	0.021	89.2	19.8	892.8	0.7	78.2	1.2	16.0	591.2	24.4	12.9	15.5	1942	87466	1	32	1286	
TAS3	1	CG	34	0.021	62.8	20.9	913.7	2.1	32.4	2.2	9.7	293.3	0.7	0.1	0.1	11	891	1	31	1317	
TAS3	1	LD	34	0.021	62.8	20.9	913.7	0.7	48.7	0.8	15.4	606.6	20.3	8.3	8.6	1320	88786	1	31	1317	
TAS3	1	CG	35	0.021	32.0	21.3	935.0	2.5	11.9	1.0	6.8	300.1	.	0.1	0.1	9	900	6	14	1331	
TAS3	1	LD	35	0.021	32.0	21.3	935.0	0.6	21.1	0.5	13.5	620.1	.	7.6	6.4	1005	89791	6	14	1331	
TAS3	1	CG	36	0.049	63.0	21.0	956.0	2.1	33.4	1.9	8.7	308.8	0.5	0.1	0.1	12	912	1	31	1362	
TAS3	1	LD	36	0.049	63.0	21.0	956.0	0.7	49.1	0.8	15.5	635.6	13.9	8.8	8.5	1380	91171	1	31	1362	
TAS3	1	CG	37	0.896	61.6	66.7	1022.7	3.6	24.2	1.2	21.3	330.1	1.4	0.1	0.1	20	932	1	97	1459	
TAS3	1	LD	37	0.896	61.6	66.7	1022.7	1.7	45.9	1.6	26.0	26.0	5.7	2.9	2.7	826	826	1	97	1459	
TAH1	1	CG	1	0.345	62.2	124.1	124.1	47.9	9.0	0.3	3.2	3.2	.	.	.	18	18	0	182	182	
TAH1	1	LD	1	0.345	62.2	124.1	124.1	21.0	1.8	0.1	2.6	2.6	.	.	0.2	3	3	5	182	182	
TAH1	1	CG	2	0.906	60.5	60.5	184.6	11.8	19.0	0.7	8.2	11.4	.	.	.	15	33	0	86	268	
TAH1	1	LD	2	0.906	60.5	60.5	184.6	9.3	4.8	0.1	3.3	5.9	0.5	0.2	0.2	6	9	1	86	268	
TAH1	1	CG	3	0.167	63.3	31.6	216.2	9.0	13.5	0.6	3.4	14.8	0.5	.	0.1	5	38	2	47	315	
TAH1	1	LD	3	0.167	63.3	31.6	216.2	7.3	7.2	0.2	2.2	8.1	.	.	.	5	14	0	47	315	
TAH1	1	CG	4	0.021	58.5	29.2	245.4	4.4	27.8	1.3	8.6	23.4	0.4	0.2	0.3	20	58	3	40	355	
TAH1	1	LD	4	0.021	58.5	29.2	245.4	3.7	13.8	0.4	4.8	12.9	.	.	.	8	22	0	40	355	
TAH1	1	CG	5	0.746	116.0	77.3	322.7	6.8	69.0	2.3	26.8	50.2	.	.	.	69	127	0	167	522	
TAH1	1	LD	5	0.746	116.0	77.3	322.7	6.8	69.0	2.3	26.8	50.2	.	.	.	69	127	0	167	522	
TAH1	1	CG	6	0.167	86.2	43.1	365.8	8.2	45.5	1.4	12.6	62.8	0.5	.	0.1	28	155	2	67	589	
TAH1	1	LD	6	0.167	86.2	43.1	365.8	8.2	45.5	1.4	12.6	62.8	0.5	.	0.1	28	155	2	67	589	
TAH1	1	CG	7	0.042	117.7	39.2	405.0	4.1	82.0	3.1	18.0	80.8	.	.	.	103	258	0	86	675	
TAH1	1	LD	7	0.042	117.7	39.2	405.0	4.1	82.0	3.1	18.0	80.8	.	.	.	103	258	0	86	675	
TAH1	1	CG	8	0.719	87.6	58.4	463.4	7.7	37.2	1.8	13.3	94.1	0.3	0.1	0.1	15	273	1	93	768	
TAH1	1	LD	8	0.719	87.6	58.4	463.4	7.7	37.2	1.8	13.3	94.1	0.3	0.1	0.1	15	273	1	93	768	
TAH1	1	CG	9	0.174	64.9	43.3	506.7	9.5	19.5	0.9	7.2	101.3	0.2	0.1	0.1	3	276	1	66	834	
TAH1	1	LD	9	0.174	64.9	43.3	506.7	9.5	19.5	0.9	7.2	101.3	0.2	0.1	0.1	3	276	1	66	834	
TAH1	1	CG	10	0.042	35.0	.	.	5.5	3.0	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
TAH1	1	LD	10	0.042	35.0	.	.	5.5	3.0	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
TAH1	1	CG	11	0.042	38.0	.	.	.	5.5	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
TAH1	1	LD	11	0.042	38.0	.	.	.	5.5	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
TAH1	1	CG	12	0.042	32.5	.	.	.	5.5	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
TAH1	1	LD	12	0.042	32.5	.	.	.	5.5	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
TAH1	1	CG	13	0.042	44.0	.	.	.	9.5	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
TAH1	1	LD	13	0.042	44.0	.	.	.	9.5	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	

SAS

17:17 WEDNESDAY, FEBRUARY 3, 1988

28

NUM=9 SITE=TAI

SOL	COUPLE	PARCELLE	AVERSE	TA	I	PU	SPU	PI	RX	DR	L	SL	CS	CX	CTU	E	SE	TY	EV	SEV
TAH1	1	CG	14	0.042	23.0	.	.	.	5.5	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
TAH1	1	CD	14	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
TAH1	1	CG	15	0.042	40.0	.	.	.	10.0	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
TAH1	1	CD	15	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
TAH1	1	CG	16	0.042	26.0	.	.	.	5.0	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
TAH1	1	CD	16	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
TAH1	1	CG	17	0.042	34.3	51.3	558.0	5.5	.	0.2	7.3	108.6	.	.	.	3	279	.	37	871
TAH1	1	CD	17	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
TAH1	1	CG	18	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
TAH1	1	CD	18	2.739	119.5	79.7	325.1	10.1	34.5	0.7	11.9	24.8	.	.	.	17	39	0	178	533
TAH1	1	CG	19	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
TAH1	1	CD	19	0.174	114.0	66.5	391.6	5.8	51.0	1.2	20.5	45.3	.	.	.	11	50	0	141	674
TAH1	1	CG	20	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
TAH1	1	CD	20	0.555	17.2	23.0	414.6	.	.	.	6.0	51.3	.	.	.	0	50	.	8	682
TAH1	1	CG	21	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
TAH1	1	CD	21	0.191	61.4	40.9	455.5	6.6	10.3	0.3	4.4	55.7	.	.	.	1	51	0	59	741
TAH1	1	CG	22	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
TAH1	1	CD	22	0.042	60.3	40.2	495.7	4.2	15.0	0.5	7.1	62.8	.	.	.	2	53	0	57	798
TAH1	1	CG	23	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
TAH1	1	CD	23	0.172	30.0	.	.	7.1	2.3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
TAH1	1	CG	24	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
TAH1	1	CD	24	0.172	37.0	.	.	.	4.5	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
TAH1	1	CG	25	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
TAH1	1	CD	25	0.172	24.5	.	.	.	1.8	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
TAH1	1	CG	26	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
TAH1	1	CD	26	0.172	30.3	47.5	543.2	7.1	.	0.1	2.6	65.4	.	.	.	0	53	.	30	828
TAH1	1	CG	27	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
TAH1	1	CD	27	0.083	.	37.2	580.4	.	.	.	.	.	.	.	.	0	53	.	5	833
TAH1	1	CG	28	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
TAH1	1	CD	28	0.364	30.4	32.9	613.3	7.7	1.4	0.1	1.1	66.5	.	.	.	0	53	.	21	854
TAH1	1	CG	29	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
TAH1	1	CD	29	0.042	88.2	48.5	661.8	3.3	33.7	1.2	13.9	80.4	0.4	0.1	0.1	6	59	1	77	931
TAH1	1	CG	30	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
TAH1	1	CD	30	0.167	86.7	50.6	712.4	4.2	33.0	0.9	13.3	93.7	.	.	.	3	62	0	79	1010
TAH1	1	CG	31	0.664	60.5	60.5	518.5	13.9	13.0	0.4	4.5	113.1	.	.	.	9	28	0	95	957
TAH1	1	CD	31	0.754	60.5	60.5	772.9	7.7	10.8	0.3	7.1	100.8	.	.	.	9	64	0	86	1096
TAH1	1	CG	32	0.083	121.1	30.3	648.8	4.7	49.5	1.7	7.5	120.6	.	.	.	10	297	0	68	1025
TAH1	1	CD	32	0.083	121.1	30.3	803.2	3.9	42.3	1.2	7.5	108.3	0.2	0.1	0.1	3	67	1	68	1164
TAH1	1	CG	33	0.021	85.2	18.9	667.7	2.5	37.2	1.5	5.2	125.8	.	.	.	6	303	0	29	1054
TAH1	1	CD	33	0.021	85.2	18.9	822.1	2.3	30.5	0.9	4.6	112.9	0.2	0.1	0.1	2	69	1	29	1193
TAH1	1	CG	34	0.021	60.0	20.0	687.7	2.6	19.0	1.0	4.1	129.9	0.1	0.1	0.1	1	304	1	28	1082
TAH1	1	CD	34	0.021	60.0	20.0	842.1	2.7	18.5	0.6	3.7	116.6	.	.	.	1	70	0	28	1221
TAH1	1	CG	35	0.021	29.0	19.3	707.0	2.9	5.2	0.3	2.1	132.0	.	.	.	1	305	1	12	1098
TAH1	1	CD	35	0.021	29.0	19.3	861.4	2.9	3.5	0.2	1.6	118.2	.	.	.	1	7	0	12	1233
TAH3	1	CG	1	16.750	66.1	120.0	120.0	11.3	20.0	0.6	19.6	19.6	0.5	0.2	0.2	39	39	1	187	187
TAH3	1	CD	1	16.750	66.1	120.0	120.0	11.4	19.5	0.6	12.7	12.7	.	.	.	20	20	.	187	187
TAH3	1	CG	2	0.928	63.8	63.8	183.8	2.9	23.5	1.0	15.7	35.3	.	.	.	10	49	0	96	283
TAH3	1	CD	2	0.928	63.8	63.8	183.8	3.2	27.0	1.1	14.2	26.9	.	.	.	11	31	0	96	283
TAH3	1	CG	3	0.169	63.0	31.5	215.3	2.8	29.5	1.3	9.8	45.1	0.2	0.1	0.1	5	54	1	47	330
TAH3	1	CD	3	0.169	63.0	31.5	215.3	3.3	32.0	1.3	8.9	35.8	0.7	.	0.1	26	57	2	47	330
TAH3	1	CG	4	0.021	62.5	31.3	246.6	3.1	36.0	1.9	15.2	60.3	0.2	0.1	0.1	14	68	1	46	376
TAH3	1	CD	4	0.021	62.5	31.3	246.6	11.7	36.0	0.5	11.7	45.1	0.4	0.1	0.1	15	4	1	39	461
TAH3	1	CG	5	0.698	125.0	62.5	309.1	2.2	75.5	2.4	27.2	87.5	0.6	0.2	0.2	55	123	1	146	522

SAS

17:17 WEDNESDAY, FEBRUARY 3, 1988 34

29

NUM=9 SITE=TAI

SOL	COUPLE	PARCELLE	AVERSE	TA	I	PU	SPU	PI	RX	DR	L	SL	CS	CX	CTU	E	SE	TY	EV	SEV
TAH3	1	CG	6	0.169	90.0	30.0	339.1	2.9	56.0	1.7	12.2	99.7	0.8	0.1	0.1	19	142	1	49	571
TAH3	1	CD	6																	
TAH3	1	CG	7	0.042	120.2	30.0	369.1	3.0	82.5	3.2	17.5	117.2	0.7	0.1	0.1	12	154	1	67	638
TAH3	1	CD	7																	
TAH3	1	CG	8	0.765	89.6	52.3	421.4	2.7	45.0	1.7	19.0	136.2	0.5	0.1	0.1	25	179	1	85	723
TAH3	1	CD	8																	
TAH3	1	CG	9	0.172	63.7	37.1	458.5	2.4	30.0	1.2	13.9	150.1	0.5	0.1	0.1	11	190	1	56	779
TAH3	1	CD	9																	
TAH3	1	CG	10	0.021	29.9			2.9	12.0											
TAH3	1	CD	10																	
TAH3	1	CG	11	0.021	36.9				17.0											
TAH3	1	CD	11																	
TAH3	1	CG	12	0.021	23.4				9.0											
TAH3	1	CD	12																	
TAH3	1	CG	13	0.021	36.5				17.0											
TAH3	1	CD	13																	
TAH3	1	CG	14	0.021	24.2				10.0											
TAH3	1	CD	14																	
TAH3	1	CG	15	0.021	30.0	35.0	493.5	2.9		0.7	13.1	163.2		0.1	0.1	11	201	6	22	801
TAH3	1	CD	15																	
TAH3	1	CG	16																	
TAH3	1	CD	16	2.729	119.8	59.9	306.5	3.0	74.5	2.6	21.9	71.4	0.4	0.1	0.2	27	99	1	134	510
TAH3	1	CG	17																	
TAH3	1	CD	17	0.167	119.0	29.7	336.2	2.8	82.0	3.5	12.4	83.8	0.6	0.1	0.1	13	112	1	66	576
TAH3	1	CG	18																	
TAH3	1	CD	18	0.802	62.9	52.4	388.6	3.7	27.5	1.3	11.5	95.3				11	123	0	78	654
TAH3	1	CG	19																	
TAH3	1	CD	19	0.042	62.9	21.0	409.6	2.8	32.0	1.8	6.7	102.0				5	128	0	31	685
TAH3	1	CG	20																	
TAH3	1	CD	20	0.167	31.1			3.7	10.0											
TAH3	1	CG	21																	
TAH3	1	CD	21	0.167	38.4				13.5											
TAH3	1	CG	22																	
TAH3	1	CD	22	0.167	25.0				8.0											
TAH3	1	CG	23																	
TAH3	1	CD	23	0.167	37.9				14.0											
TAH3	1	CG	24																	
TAH3	1	CD	24	0.167	23.9				7.0											
TAH3	1	CG	25																	
TAH3	1	CD	25	0.167	31.2	57.2	466.8	3.7		0.5	13.0	115.0				3	131	0	37	722
TAH3	1	CG	26																	
TAH3	1	CD	26	0.656	30.6	61.2	528.0	3.9	7.5	0.5	7.7	122.7				3	134	0	39	761
TAH3	1	CG	27																	
TAH3	1	CD	27	0.042	89.1	29.7	557.7	2.2	56.5	2.7	14.4	137.1	0.3	0.1	0.1	10	144	1	48	809
TAH3	1	CG	28	3.865	61.3	61.3	554.8	2.3	19.0	0.8	11.8	175.0	0.2	0.1	0.1	11	212	1	88	889
TAH3	1	CD	28	0.866	61.3	61.3	619.0	2.7	26.0	1.1	14.3	151.4	0.1	0.1	0.1	4	148	1	88	897
TAH3	1	CG	29	0.084	123.1	30.8	585.6	2.9	74.0	2.7	14.6	189.6	0.5	0.1	0.1	18	230	1	71	960
TAH3	1	CD	29	0.084	123.1	30.8	649.8	2.6	78.5	3.3	14.0	165.4	0.4	0.1	0.1	6	154	1	71	968
TAH3	1	CG	30	0.021	89.4	19.9	605.5	1.9	53.5	2.4	10.0	199.6	0.3	0.1	0.1	9	239	1	32	992
TAH3	1	CD	30	0.021	89.4	19.9	669.7	2.3	58.5	2.7	9.7	175.6	0.2	0.1	0.1	3	157	1	32	1000
TAH3	1	CG	31	0.021	62.1	20.7	626.2	2.3	33.0	1.7	8.8	208.4	0.3	0.1	0.1	6	245	1	30	1022
TAH3	1	CD	31	0.021	62.1	20.7	690.4	2.6	34.0	1.9	8.0	183.6				3	160	0	30	1030
TAH3	1	CG	32	0.021	30.4	20.3	646.5	2.6	12.5	0.9	6.8	215.2	0.2	0.1	0.1	5	250	1	13	1035
TAH3	1	CD	32	0.021	30.4	20.3	710.7	2.4	11.0	0.7	5.2	188.8		0.1	0.1	2	162	6	13	1043



## A N N E X E 2

## Tableaux hors texte

I	Pluviométries moyennes mensuelles et annuelles de différents postes et stations du Niger, du Burkina Faso et de la Côte d'Ivoire (en annexe)
VIII	Bilans hydriques théoriques des différents domaines climatiques du transect étudié (en annexe)
XXIX	Caractéristiques des sols (en annexe)
XXX	Caractéristiques des réservoirs (en annexe)
XLVIII	Turbidités moyennes pondérées et caractéristiques secondaires des sols et des interfaces en leur état naturel (en annexe)
LXI	Erodibilités maximales sous simulation de pluies (kSIM) pour des érosivités caractéristiques des sites (SR var.) et pour une érosivité constante (SR 500) (en annexe)
LXII	Protocole expérimental particulier d'Oursi, érodibilités maximales obtenues sous simulation de pluies (kSIM) (en annexe)
LXIII	Coefficients d'atténuation de l'érosion assurée par différents types de couverts végétaux (en annexe)
LXIV	Coefficients d'atténuation de l'érosion par différentes techniques culturales (en annexe)
LXV	Comparaison des érodibilités maximales mesurées sous simulation de pluies (kSIM) avec celles calculées (K, USA calc) (en annexe)
LXVI	Comparaison de quelques valeurs limites de l'érodibilité en Afrique de l'Ouest, au Brésil, aux Etats-Unis, obtenues selon trois méthodes (en annexe)
LXVII	Comparaison de quelques valeurs limites du facteur "types de couverts végétaux" obtenues selon deux méthodes (en annexe)
LXVIII	Hétérogénéité des comportements hydriques et régularité des micromodèles des parcelles (en annexe)
LXX	Vitesses calculées des courants de ruissellement (MANNING) et indice de turbulence (REYNOLDS) (en annexe)
LXXIV	Erosion liée au courant de ruissellement, paramètres des équations $C_x = f(R_x)$ et $C_x = F(v)$ (en annexe)
LXXVIII	Sélectivité de l'érosion hydrique, variation des classes granulométriques des sédiments avec l'érosion cumulée (en annexe)





**TABLEAU I**  
Pluviométries moyennes mensuelles et annuelles de différents  
postes et stations du Niger, du Burkina Faso et de la Côte d'Ivoire

Stations	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
<b>NIGER</b>													
TAHOUA 14°50' N 40 j 05°15' E 38 a	1	0	0	3	17	48	110	140	53	13	0	0	385**
	08	0	0	1	4	12	29	36	14	3	0	0	2,2,8
MARADI 13°25' N 46 j 07°05' E 25 a	0	0	0	2	34	58	147	236	113	13	0	0	603
	0	0	0	3	6	10	24	39	19	2	0	0	3,2,7
BIRNI N'KONI 13°45' N 45 j 05°15' E 21 a	0	0	0	2	26	73	141	235	115	9	0	0	601
	0	0	0	0	4	12	23	39	19	1	0	0	3,1,8
<b>BURKINA FASO</b>													
OORI 14°02' N 41 j 00°02' W 61 a	1	1	1	5	25	64	139	177	88	17	1	0	519
	0	0	0	1	5	12	27	34	17	3	0	0	2,2,8
OUAHIOUYA 13°35' N 44 j 02°25' W 50 a	0	0	4	11	39	101	198	231	128	29	4	0	745
	0	0	1	2	5	13	27	31	17	4	1	0	
OUAGADOUGOU 12°21' N 76 j 01°31' W 30 a	0	2	7	21	88	126	178	262	158	28	3	2	875
	0	0	1	2	10	14	20	30	18	3	1	0	4,1,7
FADA NGOURMA 12°10' N 70 j 03°40' W 60 a	0	0	7	21	81	125	168	283	168	27	2	0	892
	0	0	1	2	10	14	19	32	19	3	0	0	4,1,7
BOROMO 11°50' N 80 j 02°55' W 60 a	0	4	10	34	89	115	231	283	190	44	11	2	1012
	0	0	1	3	9	11	23	28	19	4	1	0	4,3,5
BOBO DIULASSO 11°10' N 93 j 04°19' W 60 a	2	5	21	42	97	129	143	342	219	69	6	3	1178
	0	1	2	3	8	11	21	29	19	6	1	0	4,3,5
LEO 11°06' N 69 j 02°06' W 15 a	2	8	19	61	99	143	196	303	184	43	7	1	1066
	0	1	2	3	8	11	21	29	19	6	1	0	4,3,5
GADUA 10°20' N 86 j 03°10' W 65 a	6	8	37	72	140	142	173	250	222	85	29	6	1170
	1	1	3	6	12	12	15	21	19	7	2	1	5,3,4
NIANGOLOKO 10°05' N 30 a 03°00' W	0	19	35	89	133	193	212	348	245	79	31	14	1398
	0	1	2	6	10	14	15	25	17	6	2	1	5,4,3

**TABLEAU I (suite)**

Stations	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
<b>Côte d'Ivoire</b>													
FERKESSEDOUGOU 09°30' N 109 j 05°12' W 45 a	5	19	47	91	140	158	186	299	251	112	32	10	1531
	0	1	3	7	10	12	14	22	19	8	2	1	6,3,3
DOUENNE 09°30' N 123 j 07°34' W 49 a	3	14	39	76	118	176	289	383	292	164	54	10	1511
	0	1	2	5	7	11	18	24	18	10	3	1	6,3,3
BONDOUKOU 08°03' N 93 j 02°47' W 43 a	15	43	74	131	169	166	80	64	186	177	51	17	1173
	1	4	6	1	14	14	7	5	16	15	4	1	5,5,3
BOUAKE 07°44' N 106 j 05°04' W 48 a	14	45	90	140	146	149	98	105	213	140	38	20	1151
	1	4	7	12	12	12	8	9	18	12	3	2	6,4,3
MAN 07°23' N 125 j 07°32' W 49 a	16	57	116	159	159	214	207	260	320	170	56	22	1731
	1	3	7	9	9	12	12	15	18	10	3	1	8,2,3
DIMBOKRO 06°39' N 102 j 04°42' W 50 a	17	46	123	151	182	184	95	60	138	130	63	19	1251
	2	4	10	12	15	15	8	5	11	11	5	2	6,4,3
GAGNDA 06°08' N 50 a 05°57' W	32	62	146	163	185	221	99	64	175	161	103	47	1431
	2	4	10	11	13	15	7	4	12	11	7	3	8,4,3
ABIOJAN 05°15' N 149 j 03°56' W 35 a	29	42	115	155	355	595	226	30	55	133	186	109	2031
	1	2	6	8	17	29	11	1	3	7	9	5	8,2,3
SASSANDRA 04°57' N 129 j 06°05' W 49 a	23	24	74	104	295	511	157	23	48	100	142	87	1521
	1	2	5	6	19	32	10	1	3	6	9	5	6,3,3
TABOU 04°25' N 147 j 07°22' W 47 a	53	48	88	134	415	533	156	83	221	203	195	145	2271
	2	2	3	6	18	23	7	4	10	9	9	6	8,4,3

**Légende**

(\*) sous les hauteurs mensuelles sont précisés les pourcentages de précipitations  
(\*\*) sous les hauteurs annuelles figurent les indices "I.S.P." de A. AUBREVILLE (cf.  
note infrapaginale dans le paragraphe II.3.2. de la première partie)

**TABLEAU VIII a**  
Bilans hydriques théoriques des différents domaines  
climatiques du transect étudié (E.T.P.Turc)

Stations	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
<b>NIGER</b>													
TAHOUA 14° 50' eu = 30	ETP	210	217	255	252	184	156	132	123	158	172	201	2263
	P	1	0	0	0	3	17	48	110	140	53	13	385
	Res	0	0	0	0	0	0	0	17	0	0	0	0
	ETR	1	0	0	0	17	48	110	123	70	13	0	385
	Def	209	217	255	249	167	108	22	0	8	159	201	1872
	Exc	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MARADI 13° 25' eu = 50	ETP	200	225	247	240	198	165	140	138	160	169	193	2259
	P	0	0	0	2	34	58	147	236	113	13	0	603
	Res	0	0	0	0	0	0	7	50	3	0	3	0
	ETR	0	0	0	2	34	58	140	138	160	16	0	548
	Def	200	225	247	238	164	107	0	0	0	153	193	1771
	Exc	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	55
<b>BURKINA FASO</b>													
OORI 14° 02' eu = 50	ETP	189	230	241	231	211	173	156	145	159	165	188	2263
	P	1	1	1	5	25	64	139	177	88	17	1	519
	Res	0	0	0	0	0	0	0	32	0	0	0	0
	ETR	1	1	1	5	25	64	139	145	120	17	1	519
	Def	187	229	240	225	186	109	17	0	56	148	187	1761
	Exc	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
OUAGADOUGOU 12° 21' eu = 100	ETP	187	188	216	172	155	136	129	116	126	149	165	1905
	P	0	2	7	21	83	125	178	262	158	28	3	875
	Res	0	0	0	0	0	49	75	75	0	0	0	0
	ETR	2	5	21	42	97	129	123	121	127	142	33	845
	Def	173	176	186	119	49	9	0	0	0	90	149	951
	Exc	0	0	0	0	0	0	20	221	92	0	0	333
<b>COTE D'IVOIRE</b>													
FERKESSEDOUGOU 09° 35' eu = 100	ETP	154	150	152	143	145	128	116	106	116	140	137	1618
	P	5	19	47	91	140	159	186	299	251	112	32	1350
	Res	0	0	0	0	0	30	100	100	100	72	0	0
	ETR	5	19	47	91	140	128	116	106	116	140	104	1022
	Def	149	131	105	52	5	0	0	0	0	0	33	596
	Exc	0	0	0	0	0	0	193	135	0	0	0	329
BOUAKE 07° 44' eu = 100	ETP	130	140	153	147	138	108	92	87	109	128	125	1478
	P	14	45	90	140	146	149	98	105	313	140	38	1198
	Res	0	0	0	0	8	49	55	73	100	100	13	0
	ETR	14	45	90	140	138	108	92	87	109	128	125	1109
	Def	116	95	53	7	0	0	0	0	0	0	89	369
	Exc	0	0	0	0	0	0	0	0	77	12	0	89

**TABLEAU VIII a (suite)**

Stations	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
DINGBO 06° 39' eu = 75	ETP	142	144	153	149	148	115	113	95	107	139	143	1574
	P	17	46	123	151	182	184	55	69	138	129	63	1208
	Res	0	0	0	0	36	75	52	22	54	54	0	0
	ETR	17	46	123	149	148	115	113	95	107	130	117	1179
	Def	125	98	30	0	0	0	0	0	0	26	112	395
	Exc	0	0	0	0	0	30	0	0	0	0	0	30
ABIOJAN 05° 15' eu = 150	ETP	132	144	162	153	128	100	109	108	117	137	151	1585
	P	29	42	115	155	355	595	226	30	55	139	196	2036
	Res	0	0	0	0	2	150	150	7	10	12	47	12
	ETR	41	42	115	153	128	100	109	108	117	137	151	1345
	Def	91	102	47	0	0	0	0	0	0	0	0	240
	Exc	0	0	0	0	79	495	117	0	0	0	0	691
TAI 05° 52' eu = 100	ETP	126	131	139	131	106	81	92	85	83	112	123	1312
	P	21	46	162	158	220	297	159	127	319	245	122	1923
	Res	0	0	23	50	100	100	100	100	100	99	32	0
	ETR	53	46	139	131	106	81	92	85	83	112	123	1154
	Def	73	85	0	0	0	0	0	0	0	0	0	159
	Exc	0	0	0	0	64	216	72	42	236	133	0	769

**TABLEAU VIII b**  
Bilans hydriques théoriques sur la mare d'OURSIS et  
sur KONGOUSSI (Burkina Faso) - E.T.P. Penman

Stations	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
OURSIS 14° 37' eu = 30	ETP	199	208	245	266	291	266	245	222	218	240	210	2791
	P	0	0	2	21	70	124	164	72	10	0	0	463
	Res	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	ETR	0	0	2	21	70	124	164	72	10	0	0	463
	Def	199	208	243	245	221	142	91	150	208	240	210	2328
	Exc	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
KONGOUSSI 13° 20' eu = 50	ETP	158	172	215	230	248	236	191	175	183	189	158	2318
	P	0	1	3	14	44	95	162	222	122	25	1	689
	Res	0	0	0	0	0	0	0	0	47	0	0	0
	ETR	0	1	3	14	44	95	162	175	169	25	1	689
	Def	158	171	212	216	204	141	29	0	14	164	167	1629
	Exc	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

**TABLEAU VIII c**  
Bilan hydrique théorique sur KONGOUSSI (Burkina Faso)  
avec E.T.P. Lysimètre

Stations	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
KONGOUSSI 13° 20' eu = 50	ETP	174	199	257	261	237	225	155	139	135	164	186	2306
	P	0	1	3	14	44	95	152	222	122	25	1	689
	Res	0	0	0	0	0	0	0	0	37	0	0	0
	ETR	0	1	3	14	44	95	155	139	135	62	1	649
	Def	174	198	254	247	193	130	0	0	0	102	185	1657
	Exc	0	0	0	0	0	0	0	40	0	0	0	40

TABLEAU XXIX  
Caractéristiques des sols

		TEXTURE				STRUCTURE				MAT. ORG. + RAC.		DRAIN. SUPERF.				OBSERVATIONS
		ARGI	ENTR	TRES	MINE	TYPE	AGRE	INST	OCHI	MORG	RACW	PELL	ENSB	ESRO	VEGT	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
ZUS 1	1 2	S SFA	hca	0 0	3,70 3,08	M M	-	++	0	-	+ 77 - 105	10	90	0	65	Isohum, brun rouge sub- aride
ZUS 2	1 2	SA AS	app	- -	2,96 3,09	Fg M	-	0	+	+	+ 20 - 78	91	11	9	28	Isohum, brun sub-aride vertique
ZUS 3	1 2	S SA	suff	- ++	3,27 2,65	PDg M	+	+	0	+	+ 15 + 65	35	60	5	10	Ferr, trop, lessivé hydr.
SAS 1	1 2	S SA	app	0 -		M M	-	++	0	-	- 40	33	55	12	9	Ferr, trop peu lessivé
SAS 2	1 2	SA AS	hca	- 0	3,22 2,96	Fg PDg	-	-	0	++	- 40	18	75	7	50	Isohum, brun rouge sub- aride
SAS 3	1 2	S AS	app	0 -		M M	+	+	0	-	- 25	7	91	2	52	Isohum, brun rouge sub- aride
SAS 4	1 2	AS AS	hca	0 0	3,14 3,34	Fg M	+	0	0	++ +	- 49	45	53	2	52	Isohum, brun sub-aride vertique
ZDS 2	1 2	SA A	app	+++ ++	1,90 1,87	PDa	-	0	0	+++ +	+ 20	0	15	55	30	Ferr, trop, appauvri mod.
ZDS 3	1 2	SA AS	less	0 -	2,18 2,41	PDg PDg	-	0	+	++	+ 10 - 40	85,0	7	8	5	Ferr, trop, peu lessivé
SFS 1	1 2	S SFA	app	0 +		M M	0	-	0	++ -		80,0	10,0	10	10	Peu évolué érosion lithique
SFS 2	1 2	SFA SA	less	0 0	2,19 2,33	M M	0	0	0	+		50,0	50,0	0	30	Ferr, trop lessivé à concrét, hyd.
SAS 1	1 2	AS AS	hca	- +	2,81 2,85	Fg M	0	0	+	++ +	- 15	90,0	5	5	40	Brun eutrol, trop vertiq.
LDS 1	1 2	S SA	app	++ ++	2,01 2,02	M PDf	0	-	0	+	+ 15 - 20	50,0	34	16	5	Ferr, trop appauvri ind.
ZDS 1	1 2	SA A	app	0 0		M M			0	+	++ 24	60,0	37	3	10	Ferr, moy, desal, typ.
ZDS 2	1 2	SA A	less	++ +	1,83 1,76	PDf M			0	+++ +	++ 10 - 40	20,0	5	75	15	Ferr, moy, desal, reman.
ZDS 5	1 2	S AS	less	0 -		M M			0 0	- +	++ 13 - 14	10,0	90,0	0	15	Hydrom, miné, pseudogley

TABLEAU XXIX (suite)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
SAS 1	1	SFA	less	0	1,92	Ff	+	+	0	++	+++ 7	activité		5	12	Ferr, moy, desal, reman.
	2	SA		++	1,92	M					+++ 30 - 60					
SAS 2	1	SFA	suff	-	1,80	Ff	+	-	0	++	+++ 15	faune		15	12	Ferr, moy, desal, reman.
	2	AS		++	2,34	M					+++ 30 - 70					
SAS 3	1	S	suff	0		M	0		0	++	+++ 7	10	50	0	25	Hydrom, min, à pseudogley
	2	SFA		0	2,80	M					+++ 25 - 70					
TAS 1	1	AS	app	-	1,79	Fa	+++	+++	0	+++	+++ 20	activité		55	50	Ferr, moy, (fort.), desal, reman.
	2	A		++	1,95	PDf					+++ 60 - 90					
TAS 3	1	SA	less	0	2,20	PDf	+	++	0	+++	+++ 10	faune		2	50	Ferr, fort., desal, colluvionné
	2	AS		-	1,90	M					+++ 30 - 70					

Légende

Colonne 1 : Profils pédologiques représentatifs des sites expérimentaux, ordonnés selon la latitude.

Colonne 2 : .. 1 : horizon ou série d'horizons entre 0 et 10 cm  
.. 2 : horizon profond à accumulation d'argile ou à pédoplasation maximale

Texture

Colonne 3 : APG1 - texture exprimée en phases argile et sable :

- .. S sableuse (0 à 7 % d'argile)
- .. SFA sablo-faiblement argileuse (7 à 15 % d'argile)
- .. SA sablo-argileuse (15 à 30 % d'argile)
- .. AS argilo-sableuse (30 à 45 % d'argile)
- .. A argileuse (> 45 % d'argile)

Colonne 4 : ENTR - processus d'entraînement des colloïdes argileux :

- .. hom. texture homogène au-delà de 10 cm sur l'ensemble des horizons pédoplasés,
- .. app. appauvrissement en argile, soit entraînement perceptible en-deçà de 10 cm sans accumulation profonde,
- .. less. lessivage-entraînement d'argile au-delà de 10 cm avec soit une accumulation absolue, soit une augmentation progressive du taux en profondeur jusqu'aux altérites,
- .. suff. suffosion - exportation latérale d'argile sans niveau d'accumulation, souvent liée à l'apparition d'un important flux latéral d'eau gravitaire.

Colonne 5 : TXEG - Taux d'éléments grossiers exprimé en pourcentage volumique à l'intérieur des 10 premiers centimètres :

- .. 0 : < 1 % charge insignifiante
- .. - : 1 à 5 % charge faible
- .. + : 5 à 15 % charge moyenne
- .. ++ : 15 à 25 % charge abondante
- .. +++ : > 25 % charge très abondante

Colonne 6 : MINE - rapport moléculaire  $SiO_2/Al_2O_3$  de la terre fine ( $< 2,00 \text{ mm}$ ), fournissant une information dérivée sur la minéralogie des argiles (déterminée par ailleurs sur un certain nombre d'échantillons par diffractométrie).

#### Structure

Colonne 7 : TYPE - Développement et dimension des unités structurales :  
 .. F : fragmentaire (f : fine - m : moyenne - g : grossière)  
 .. PD : peu développée (f, m, g)  
 .. M : massive ou particulaire (sables)

Colonne 8 : AGRE - Taux d'agrégats stables à l'issue du test "eau" de HENIN et MONNIER (1956)  
 .. 0 : 0 à 5 % d'agrégats résistants  
 .. - : 5 à 10 % d'agrégats résistants  
 .. + : 10 à 15 % d'agrégats résistants  
 .. ++ : 15 à 20 % d'agrégats résistants  
 .. +++ : > 20 % d'agrégats résistants

Colonne 9 : INST - Indice d'instabilité structurale du test HENIN et MONNIER (1956) :  
 .. 0 :  $Is > 2$   
 .. - :  $Is$  de 1 à 2  
 .. + :  $Is$  de 0,7 à 1  
 .. ++ :  $Is$  de 0,5 à 0,7  
 .. +++ :  $Is < 0,5$

Colonne 10 : DCHI - Dégradation chimique probable des structures à cause de charges excessives ou déséquilibrées du complexe absorbant en magnésium ( $Ca/Mg < 1$ ) ou, et, sodium ( $Na/T > 15 \%$ ) :  
 .. + : risques  
 .. 0 : pas de risques

#### Matières organique et enracinement

Colonne 11 : MORG - Taux de matières organiques humifiées (Carbone total  $\times 0,1724 \times 10^{-2}$ )  
 .. - :  $< 0,5 \%$   
 .. + :  $0,5 \pm 1,0 \%$   
 .. ++ :  $1,0 \pm 2,0 \%$   
 .. +++ :  $> 2,0 \%$

Colonne 12 : RACS - Enracinement, abondance et profondeur du chevelu racinaire (en centimètres) :  
 .. - : rare  
 .. + : moyen  
 .. ++ : abondant  
 .. +++ : très abondant

#### Organisations de la surface du sol en son état naturel de saison sèche

Colonne 13 : PELL - Pellicule superficielle d'éléments fins colmatant les porosites et taux d'occupation (points quadrats)

Colonne 14 : ENSP - Ependage de sables et taux d'occupation (points quadrats)

Colonne 15 : EGRO - Ependage d'éléments grossiers ( $> 2 \text{ mm}$ ) et taux d'occupation (points quadrats)

\*  $x \text{ PELL} + y \text{ ENSB} + z \text{ EGRO} = 100 \%$

#### Couvert végétal en saison sèche

Colonne 16 : VEGT - Taux de recouvrement de la surface du sol soit par des débris végétaux, soit par des plantes vivantes encore érigées (points quadrats)

\* N.B. : sol défriché sur TAY 1 et 3.

#### Observations

Colonne 17 : Référence succincte à la Classification des sols (CPCS 1967).

TABLEAU XXX  
Caractéristiques des réservoirs

CAPACITES			ALIMENTATION PLANTES				ORIENTATION DRAINAGE			
NAPO: MIPO:			FLET	EUTI	HYSS	ORVE	CDRA	DRDB		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
DUS 1	1	++	-	0	+	UD	++	0	0	
	2	++	-	-	-					
	3	++	-	-	-					
DUS 2	1	-	++	++	+++	UD	0		0	DYST saturation par eau liée
	2	-	++	++	++					
	3	-	++	++	+					
DUS 3	1	-	+	-	++	+ 30		50 comp, 120 Cg.	+	NAPP
	2	+	+	+	+++					
	3	-	++	+++	0					
GAS 1	1	+++	-	-	+	UD		50 roc.	+	
	2	+	-	+	0	UD	++	0	0	
	3	+	-	-	+	UD	++	0	0	
GAS 2	1	+++	-	+	0	UD	++	0	0	
GAS 3	1	+++	-	-	+	UD	++	0	0	
GAS 4	1	+++	-	+	++	UD	++	0	0	DYST
PDS 2	1	+	+	-	-	UD	++	0	0	
	2	++	-	+	-					
PDS 3	1	+	+	+	+++	UD		90 tach.	+	
	2	-	+++	+++	++					
SPS 1	1	+++	-	0	++	UD		70 roc	+	
	2	+++	0	0	-					
SPS 2	1	++	-	-	++	+ 130	+	70 arg.	0	
	2	++	+	+	+++					
	3	+	+	+	++					
BAS 1	1	-	++	++	+++	UD	0		0	DYST saturation par eau liée
	2	0	+++	+++	+					
	3	?	?	+++	+					
LOS 1	1	++	-	0	++	+ 0		+ 40 car.	+	
KDS 2	1	++	-	0	+		+	110 tach.	+	
	2	+	+	-	++	+ 15				
	3	0	+++	+	+++					
SAS 1	1	+++	-	-	++	UD	++	0	0	
	2	++	-	-	+					
	3	++	-	-	-					
SAS 2	1	+++	0	-	0	+ 90	+	150 car. et cuir argil.	+	(NAPP)
	2	+++	0	-	0					
	3	++	-	++	-					
SAS 3	1	+++	-	0	+++	+ 35		55 tach. 125 g.	+	NAPP
	2	++	+	0	+++					
	3	+	+	0	+++					

TABLEAU XXX (suite)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
TAS 1	1	-	++	+++	+	+		30 comp.	+	
	2	+	+	+++	+	+		110 tach.		
	3	0	+++	++	+++					
TAS 3	1	-	++	++	+++	+		15 comp.		(NAPP)
	2	+	+++	+++	-	+		110 tach.	+	
	3	0	++	+++	++			160 car.		

Légende

Colonne 1 : Profils pédologiques représentatifs des sites expérimentaux, ordonnés selon la latitude.

Colonne 2 : Tranches de profils de sols jusqu'à 150 cm :

- .. 1 : 0 à 50 cm
- .. 2 : 50 à 100 cm
- .. 3 : 100 à 150 cm

Colonne 3 : NAPO - Macroporosité exprimée en classes de hauteur : d'eau par centimètres de sol (mm/cm)

- .. 0 : < 0,2 mm/cm très faible
- .. - : 0,2 à 0,7 mm/cm faible
- .. + : 0,7 à 1,5 mm/cm moyenne
- .. ++ : 1,5 à 2,5 mm/cm forte
- .. +++ : > 2,5 mm/cm très forte

Colonne 4 : MIPO - volume occupé par la microporosité dans la porosité totale (100 microporosité/porosité totale), selon 5 classes :

- .. 0 : < 25 % très faible
- .. - : 25 à 50 % faible
- .. + : 50 à 75 % moyenne
- .. ++ : 75 à 90 % forte
- .. +++ : > 90 % saturation par l'eau retenue

Colonne 5 : FLET - Humidité volumique au point de flétrissement permanent (pF 4,2) exprimée en classes de hauteurs d'eau par centimètres de sols (mm/cm) :

- .. 0 : < 0,5 mm/cm très faible
- .. - : 0,5 à 1,0 mm/cm faible
- .. + : 1,0 à 1,5 mm/cm moyenne
- .. ++ : 1,5 à 2,0 mm/cm forte
- .. +++ : > 2,0 mm/cm excessive

Colonne 6 : EUTI - Gamme d'eau utilisable par les végétaux, exprimée en classes de hauteurs d'eau par centimètres de sols (mm/cm)

- .. 0 : < 0,2 mm/cm très faible
- .. - : 0,2 à 0,5 mm/cm faible
- .. + : 0,5 à 0,7 mm/cm moyenne
- .. ++ : 0,7 à 1,0 mm/cm importante
- .. +++ : > 1,0 mm/cm très importante

Colonne 7 : HYSS - Profil hydrique de fin de saison sèche :

- .. UD : Ultradessication (CHAUVEL, 1977), profil hydrique entièrement en-deçà des humidités volumiques au point de flétrissement permanent.  
 .. + : humidité volumique au moins en partie dans la gamme d'eau utilisable par les végétaux, indication du niveau (cm) où se produit une rupture du lien capillaire.

Colonne 8 : DRVE - Drainage vertical, intensité supposée de ce drainage vertical de l'eau gravitaire :  
 .. 0 : faible à nulle  
 .. + : moyenne  
 .. ++ : importante  
 .. absence d'information : cf. colonnes 9, 10 et 11.

Colonne 9 : CDRA - contraintes de drainage de l'eau gravitaire, par fermeture de la macroporosité, niveau d'apparition et nature de cette contrainte :  
 .. + : contrainte  
 .. 0 : pas de contrainte  
 ... comp. : horizon de "comportement" compacté, généralement proche de la surface  
 ... : arg. : horizon argillique  
 ... : g. : pseudogley  
 ... : Cg. : altérites hydromorphes  
 ... : car. : carapace ferrugineuse  
 ... : cuir. : cuirasse ferugineuse,  
 ... : roc. : dalle rocheuse

Colonne 10 : DROB - Drainage oblique (ruissellement hypodermique, under-flow, subsurface flow) :

- .. + : probable, laisant des traits pédologiques majeurs  
 .. 0 : improbable (sauf saturation hydrique des macroporosités sous-jacentes)

Colonne 11 : Observations

- .. DYST : Dynamique saisonnière possible des structures.  
 .. NAPP : Remontées de nappes en saison pluvieuse

TABLEAU XLVIII  
 Turbidités moyennes pondérées et caractéristiques secondaires des sols et des interfaces en leur état naturel

SEQ 1	SITE 2	CM2 3	VAR 4	PENT 5	ARGI 6	INST 7	DCHI 8	MORO 9	TIEO 10	VET 11
OURS	1	0,43	1	2,2	3,9	+++	0	-	0	658
	2	2,36	x 5,5	0,4	26,4	0	+++	+	10	28
	3	0,96	x 2,2	0,9	4,8	+	0	+	3	7
BALNI	1	1,31	1	0,58	7,8	+++	0	-	20	9
	2	1,64	x 1,2	2,9	19,6	-	-0	++	12	51
	3	3,42	x 2,6	(3,5)	(7,9)	+	0	-	9	52
	4	2,61	x 2,0	2,0	26,3	0	0	++	2	13
POUNI	1	0,35	x 1,3	7,5	26,3	0	0	+	608	25
	2	0,27	1	2,5	24,5	0	0	+	1008	30
	3	2,39	x 0,8	0,9	17,8	0	+++	++	10	5
ST PAUL	1	0,95	1	4,5	6,4	-	0	++	10	10
	2	4,02	x 4,2	2,6	6,1	(0)	0	+	0	30
BATANGA	1	1,09	-	0,5	26,3	0	+++	++	7	40
LOUMBILA	1	0,82	-	1,4	5,1	-	0	+	16,08	5
KORHOGO	1	1,95	x 6,3	1,5	19,7	0	0	+	5	15
	2 et 3	0,31	1	2,7	15,5	0	0	+++	74	15
	4	1,15	x 3,7	2,7	15,5	?	0	++	60	15
	5	0,83	x 2,7	2,2	3,7	0	0	++	0	15
SAKASSOU	1	0,19	1	2,3	9,7	++	0	++	2	15
	2	2,20	x 11,6	3,7	14,5	-	0	++	10	15
	3	1,90	x 10,0	(4,5)	(3,7)	0	0	++	0	25
	41	2,13	x 11,2	(3,8)	15,0	-	0	++	0	25
	42	1,54	x 8,1	2,8	15,0	-	0	++	0	25
TAI	1	0,15	1	19,8	35,68	+++	0	+++	608	50
	3	0,39	x 2,6	0,3	21,9	++	0	+++	2	50

#### Légende

- \* facteur de résistance,  
 \*\* facteur de fragilité,  
 Colonne 3 : - CM2 : turbidité moyenne pondérée (g/l) pour une érosivité de 500 joules/m<sup>2</sup> x mm,  
 Colonne 4 : - VAR : rapports des turbidités permettant un classement des comportements sur une séquence donnée,  
 Colonne 5 : - PENT : pente topographique en %,  
 Colonne 6 : - ARGI : taux d'argile (%) de 0 à 10 cm,  
 Colonne 7 : - INST : classement des indices d'instabilité structurale (HEWIN et MONNIER, 1957) :  
 0 Is > 2  
 - Is de 1 à 2  
 + Is de 0,7 à 1  
 ++ Is de 0,5 à 0,7  
 +++ Is < 0,5  
 Colonne 8 : - DCHI : dégradation des structures due à des charges excessives en magnésium dans de complexe absorbant - 0 pas de risques, + risques probables,

Colonne 9 : - MORG : taux de matière organique humifiée de 0 à 10 cm  
(carbone total x 0,1724 . 10<sup>-2</sup>) :  
0 < 0,5 %  
+ 0,5 à 1,0 %  
++ 1,0 à 2,0 %  
+++ 2,0 %

Colonne 10 : - TXEG : taux de recouvrement en éléments grossiers sur la surface,

Colonne 11 : - VGT : taux de recouvrement de la surface du sol par des végétaux (vivants, morts).

TABLEAU LXI  
Erodibilités maximales obtenues sous simulation de pluies (kSIM), pour des érosivités caractéristiques des sites (SR var.) et pour une érosivité constante (SR 500)

SOLS					EROSIONS				
CLASS.	CARACT.								
	ARGI	TXEG	MORG	INST	SR	SE	CH2	kSIM	rang
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
OURLI - Burkina Faso - 14°37' N, 00° 29' W - P = 460 mm - Climat sud-sahélien									
1 - Isohumique brun-rouge sub-aride sur dépôts éoliens anciens	4,7	0,4	0,4	0,7	225	8	8	0,053	
					500	8	8	0,051	12/25
2 - Isohumique brun sub-aride vertique sur roche basique	30,1	7,7	0,9	3,3	225	8	8	0,266	
					500	8	8	0,223	1/25
3 - Ferrugineux tropical lessivé concrétionné, hydromorphe sur granite	9,5	9,7	0,5	1,4	225	8	8	0,103	
					500	8	8	0,060	2/25
GALNI - Niger - 13°57' N, 05°42' E - P = 500 mm - Climat sub-sahélien									
1 - Ferrugineux tropical peu lessivé sur grès du Continental Terminal	9,1	12,0	0,4	1,3	300	2,6	1,9	0,071	
					500	3,7	1,6	0,055	6/25
2 - Isohumique brun-rouge sub-aride sur eanes Eocène	22,9	6,2	1,2	1,3	300	5,9	4,0	0,056	
					500	10,4	4,2	0,059	11/25
3 - Isohumique brun sub-aride modal sur sables éoliens	10,5	0,5	1,2		300	7,5	4,6	0,051	
					500	10,6	3,8	0,043	14/25
4 - Isohumique brun sub-aride vertique sur colluvion et alluvions de eanes	28,5	0,6	1,8	1,8	300	7,2	5,4	0,097	
					500	13,5	6,3	0,103	3/25
POUNI - Burkina Faso - 13°20' N, 01°30' W - P = 690 mm - Climat sub-sahélien									
1 - Peu évolué non climatique d'érosion sur épendages gravillonnaires	35,6	53,8	1,3	5,0	330	1,6	2,8	0,004	
					500	-	-	-	23/25
2 - Ferrugineux tropical appauvri modal sur schistes birrimiens	32,2	69,8	2,5	2,4	330	0,02	0,5	0,001	
					500	0,04	0,3	0,001	25/25
3 - Ferrugineux tropical peu lessivé sur colluvions et alluvions de schistes	25,8	3,2	1,4	3,7	330	4,1	3,1	0,079	
					500	6,0	2,5	0,076	5/25

TABLEAU LXI (suite)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
SAINT PAUL - Burkina Faso - 13°25' N, 01°30' W - P = 690 mm - Climat sub-sahélien									
1 - Peu évolué non climatique d'érosion sur grès-quartzite	6,9	14,0	1,0	1,2	330 500	3,5 -	3,0 -	0,018 -	20/25
2 - Ferrugineux tropical lessivé, concrétionné, hydromorphe sur grès-quartzite	8,7	0,1	0,7	3,5	330 500	8,7 -	0,1 -	0,045 -	17/25
BATANGA - Burkina Faso - 13°35' N, 01°30' W - P = 690 mm - Climat sub-sahélien									
1 - Brun eutrophe tropical vertique sur roche basique	31,2	2,5	1,4	5,2	330 500	2,3 1,9	9,3 1,3	0,049 0,018	16/25
LOUMBILA - Burkina Faso - 12°30' N, 01°24' W - P = 800 mm - Climat nord-soudanien									
1 - Peu évolué non climatique d'érosion sur épendages gravillonnaires	10,3	10,2	1,0	1,6	400 500	1,3 1,9	1,4 1,3	0,017 0,018	21/25
KORHOGO - Côte d'Ivoire - 09°25' N, 05°39' W - P = 1 350 mm - Climat sub-soudanien									
1 - Ferrallitique moyen, désaturé typique sur granite	29,8	2,5	1,0	1,3	500 650	7,0 9,5	3,2 3,5	0,064 0,066	8/25
2 et 3 - Ferrallitique moyen, désaturé remanié sur granite	27,7	67,0	2,7	1,4	500 650	1,4 2,0	1,5 3,2	0,007 0,009	22/25
4 - Ferrallitique moyen, désaturé remanié, induré sur granite	27,0	60,0	2,0	1,4	500 650	4,0 5,4	2,0 2,9	0,023 0,024	19/25
5 - Hydromorphe minéral à pseudogley sur colluvions granitiques	6,3	1,3	0,4	1,5	500 650	8,7 12,3	2,4 3,0	0,053 0,058	10/25
SAKASSOU - Côte d'Ivoire - 06°33' N, 04°49' W - P = 1 213 mm - Climat guinéen mésophile									
1 - Ferrallitique moyen, désaturé remanié sur granite	10,3	0,1	1,1	-	500 625	5,0 5,9	3,0 3,1	0,029 0,030	18/25
2 - Ferrallitique moyen, désaturé remanié sur granite	13,4	15,0	1,7	-	500 625	13,6 16,0	7,2 8,0	0,057 0,053	12/25
3 - Hydromorphe minéral lessivé à pseudogley sur colluvion granitique	3,7	0,1	1,2	-	500 625	15,5 18,6	11,3 10,9	0,052 0,050	15/25
4 - Ferrallitique moyen, désaturé typique sur granite	15,0	0,1	1,4	2,3	500 625	16,1 24,9	15,2 17,9	0,065 0,090	4/25
5 - Ferrallitique moyen, désaturé typique sur granite	15,0	0,1	1,4	2,3	500 625	11,9 15,2	9,0 6,8	0,066 0,067	7/25

TABLEAU LXI (fin)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
TAÏ - Côte d'Ivoire - 05°21' N, 07°21' W - P = 1 978 mm - Climat guinéen ombrophile									
1 - Ferrallitique fortement désaturé remanié nodal sur granite	38,3	59,0	5,7	0,6	500 1 000	0,2 1,8	1,4 2,0	< 0,001 < 0,001	24/25
3 - Ferrallitique fortement désaturé appauvri, induré sur granite	25,1	0,1	2,4	1,6	500 1 000	31,6 72,8	16,2 16,4	0,057 0,066	8/25

## Légende

- 1 : classification des sols (CPS, 1967)  
 2 : ARG1, taux d'argile granulométrique de 0 à 15 cm,  
 3 : TXEG, taux d'éléments grossiers, > 2 mm, de 0 à 15 cm,  
 4 : MORG, taux de matière organique (% de terre totale) de 0 à 10 cm,  
 5 : INST, coefficient d'instabilité de la structure (HENIN et MONNIER, 1956),  
 6 : SR, érosivité cumulée des pluies,  
 7 : SE, érosion cumulée, en T/ha, correspondant à SR,  
 8 : CM2, turbidité moyenne pondérée, en g/l, sur la période du cumul des érosions,  
 9 : kSIM, érodibilité maximale du sol, corrigée par le facteur topographique,  
 10 : rang, classement des érodibilités sur un effectif de 25 résultats (de la plus forte à la plus faible),  
 \* : protocole particulier sur OURSI (cf. tableau LXII).



TABLEAU LXII  
Protocole expérimental particulier d'OURSI, érodibilités  
maximales obtenues sous simulation de pluies (kSIM)  
sur des parcelles soumises à des trains d'averses  
d'intensités constantes (30, 60, 90, 120 mm/h)

SITES	1	SR	SE	CM2	kSIM
1	2	3	4	5	6
OURSI 1	30	225	5,2	3,2	0,071
		500	-	-	-
	60	225	5,3	8,1	0,047
		500	20,1	10,9	0,070
	90	225	4,8	6,3	0,080
		500	10,0	4,8	0,074
	120	225	0,7	1,3	0,014
		500	1,1	0,7	0,009
OURSI 2	30	225	8,8	3,7	0,351
		500	-	-	-
	60	225	4,1	4,1	0,135
		500	10,3	3,9	0,153
	90	225	9,4	9,2	0,375
		500	18,5	7,2	0,330
	120	225	6,2	9,5	0,205
		500	12,6	7,7	0,188
OURSI 3	30	225	6,3	2,0	0,178
		500	-	-	-
	60	225	1,1	1,0	0,027
		500	1,9	0,7	0,021
	120	225	4,1	5,5	0,103
		500	8,8	4,8	0,099

Légende

- 2 : I, intensités des pluies, en mm/h,  
3 : SR, érosivités des pluies, en  $\text{Joules/m}^2 \times \text{mm}$   
4 : SE, érosion cumulée, en T/ha, correspondant à SR,  
5 : CM2, turbidité moyennes pondérée, en g/l, sur la période du cumul des érosions,  
6 : kSIM, érodibilité maximale du sol, corrigée par le facteur topographique

TABLEAU LXIII  
Coefficients d'atténuation de l'érosion assurée par différents  
types de couverts végétaux, évaluation faite sous simulation de  
pluies (cSIM), pour des érosivités caractéristiques des sites  
(SR var.), pour une érosivité constante (SR 500)

SITES	TYPES	RECOUVR.	EGRO	SR	cSIM
1	2	3	4	5	6
OURSI 1	Chaumes de graminées 1/2 érigés, 1/2 couchés	65	0	225 500	0,162 0,103
OURSI 2	- ido -	28	20	225 500	0,457 0,396
OURSI 3	- ido -	7	0	225 500	0,630 0,635
GALMI 1	- ido -	9	41	300 500	# 1,0 # 1,0
GALMI 2	- ido -	51	18	300 500	0,450 0,360
GALMI 3	- ido -	52	0	300 500	0,760 0,790
GALMI 4	- ido -	13	0	300 500	0,520 0,470
POUNI 1	Arbustes	10	60	330 500	0,380 -
POUNI 2	Chaumes de mil érigés	30	100	330 500	# 4,5 # 3,8
POUNI 3	Chaumes de Graminées 1/2 érigés, 1/2 couchés	5	15	330 500	# 1,0 # 1,0
ST PAUL 1	Chaumes de Graminées et arbustes	10	10	330 500	0,350 -
ST PAUL 2	Chaumes de sorgho érigés	30	0	330 500	# 1,0 # 1,0
BATANGA 1	Chaumes de Graminées 1/2 érigés, 1/2 couchés	40	10	330 500	0,320 0,220
LOUXBILA	- ido -	5	20	400 500	# 1,0 # 1,0
KORHOGO 1	Chaumes de mil érigés	10	10	500 650	0,546 0,512
KORHOGO 2	- ido -	15	80	500 650	0,200 0,179
KORHOGO 3	Chaumes de mil érigés et collets	15	80	500 650	0,250 -
KORHOGO 5	Chaumes de Graminées érigés	15	0	500 650	0,143 0,118

TABLEAU LXIII (suite)

1	2	3	4	5	6
SAKASSOU 1	Graminées brûlées jusqu'au collet, touffes	12	0	500 625	0,048 0,061
SAKASSOU 1	Savane haute de saison des pluies	100	0	500 625	0,003 0,003
SAKASSOU 2	Graminées brûlées jusqu'au collet, touffes	12	15	500 625	0,077 0,134
SAKASSOU 2	Savane haute de saison des pluies	100	15	500 625	0,014 0,019
SAKASSOU 3	Graminées brûlées jusqu'au collet, touffes	25	0	500 625	0,079 0,076
SAKASSOU 3	Savane haute de saison des pluies	100	15	500 625	0,014 0,007
SAKASSOU 41	Graminées brûlées jusqu'au collet, touffes	15	0	500 625	0,049 0,046
SAKASSOU 42	- ido -	20	0	500 625	0,028 0,026
TAY 1	Défriche forestière et brûlis	?	75	500 1 000	0,440 0,300
TAI 1	Riz pluvial et adventices	100	80	500 1 000	0,484 - 0,144 0,161 - 0,034
TAY 3	Défriche forestière et brûlis	?	0	500 1 000	0,009 0,008
TAY 3	Riz pluvial et adventices	100	0	500 1 000	0,004 - 0,003 0,003 - 0,002

## Légende

- 2 : description du type de couvert,  
 3 : % de recouvrement végétal (méthode des points quadrats),  
 4 : % d'éléments grossiers sur la surface du sol,  
 5 : érosivités des pluies,  
 6 : coefficient d'atténuation de l'érosion par rapport au labour de référence.

TABLEAU LXIV

Coefficients d'atténuation de l'érosion par différentes techniques culturales, évaluation faite sous simulation de pluies (pSIM) pour des érosivités caractéristiques des sites (SR var.) pour une érosivité constante (SR 500).

SITES 1	TYPES 2	SR 3	pSIM 4
BILLONNAGE			
GALMI 1	Anciens billons isohypses	300 500	0,11 - 0,31# 0,16 - 0,54
GALMI 1	Anciens billons longitudinaux	300 500	0,31 - 1,27** 0,24 - -
GALMI 1	Nouveaux billons longitudinaux	300 500	0,74 - - - -
GALMI 2	Anciens billons isohypses	300 500	0,69 - 1,22 0,67
GALMI 2	Nouveaux billons isohypses	300 500	# 1,0 -
GALMI 3	Anciens billons isohypses	300 500	0,89 - 1,50 # 1,0
GALMI 3	Nouveaux billons isohypses	300 500	1,80 - - -
GALMI 3	Anciens billons longitudinaux	300 500	1,20 - 1,30 2,70
GALMI 3	Nouveaux billons longitudinaux	300 500	1,50 - - -
GALMI 4	Anciens billons isohypses	300 500	0,44 - - 0,38 - -
GALMI 4	Nouveaux billons isohypses	300 500	1,11 - - -
BUTTAGÉ			
POUNI 2	Buttage cloisonné	263	10,59
POUNI 3	Buttage cloisonné	165	0,67
BATANGA 1	Buttage cloisonné	158	1,07
LOUMBILA 1	Buttage cloisonné	165	< 0,001
TAY 1	Buttage simple	173	# 50
TAI 3	Buttage simple	97	0,14

TABLEAU LXIV (suite)

1	2	3	4
PAILLAGE			
POUNI 2	Paillage (chaumes de mil) sur un nouveau labour	263	7,94
POUNI 3	Paillage (chaumes de mil) sur un nouveau labour	165	0,17
BATANGA 1	Paillage (chaumes de sorgho sur un nouveau labour	158	0,32
LOUMBILA 1	Paillage (chaumes de mil) sur un nouveau labour	165	< 0,001

## Légende

- 2 : types de traitements culturaux,  
 3 : érosivité des pluies,  
 4 : coefficient d'atténuation de l'érosion par rapport au labour de référence.  
 \* : billonnage non parfaitement isohypse,  
 \*\* : parcelle non parfaitement orientée.

TABLEAU LXV

Comparaison des érodibilités maximales mesurées sous simulation  
 de pluies (k.SIM) avec celles calculées (K. USA calc)  
 à l'aide du nomogramme de VISCHMEIER, JOHNSON, CROSS (1971)

SITES	K. USA. calc.	k.SIM	K/k
1	2	3	4
OURS 1	0,20	0,05	4,0
OURS 2	0,63	0,22	2,9
OURS 3	0,39	0,06	6,5
GALMI 1	0,20	0,05	4,0
GALMI 2	0,18	0,06	3,0
GALMI 4	0,43	0,10	4,3
POUNI 1	0,18	0,01	# 50
POUNI 2	0,98	<< 0,01	> 100
POUNI 3	0,25	0,08	3,1
ST PAUL 1	0,32	0,02	16,0
ST PAUL 2	0,40	0,06	6,7
BATANGA 1	0,16	0,06	2,5
LOUMBILA 1	0,24	0,02	12,0
SAKASSOU 2	0,12	0,05	2,3
TAÏ 1	0,02	< 0,01	> 20
TAÏ 3	0,10	0,07	1,4

## Légende

- 2 : K.USA.calc., érodibilité obtenue par comparaison des données de terrain avec les résultats de régressions multiples utilisant comme variables certaines caractéristiques analytiques (10 variables dans une première tentative de VISCHMEIER et MAYNARD (1969) puis 5 variables avec VISCHMEIER, JOHNSON et CROSS (1971) :  
 - teneurs en limons et sables très fins (2 à 100 microns),  
 - teneurs en sables (100 à 2 000 microns),  
 - structure et perméabilité codées de 1 à 4 (structure) et de 1 à 6 (perméabilité).  
 3 : k.SIM, érodibilité obtenue sous simulation de pluies,  
 4 : K/k rapport des érodibilités calculées et mesurées.

TABLBAU LXVI

Comparaison de quelques valeurs limites de l'érodibilité en Afrique de l'Ouest, au Brésil, aux Etats-Unis, obtenues selon trois méthodes : a) K. USA mesuré selon "l'équation de prédiction universelle des pertes en terre" de WISCHMEIER et SMITH (1960, 1978), b) K. USA. calculé en utilisant le nomogramme de WISCHMEIER, JOHNSON et CROSS (1971) et c) k. SIM., l'érodibilité mesurée sous simulation de pluies

SOLS 1	ORIGINE 2	K, USA, mesur. 3	K, USA, calc. 4	kSIM 5
SOLS FERRALLITIQUES ET APPARENTES				
Ferrallitiques	Côte d'Ivoire 1, 2, 3, 8*	0,02 à 0,17	0,02 à 0,12*	< 0,001 à 0,09
	Bénin 3, 4	0,03 à 0,11	-	-
Latosols	Brésil 7	0,01	0,05 à 0,22	0,10 à 0,25
Oxisols	Hawaï 10	0,17 à 0,24	-	-
SOLS FERRUGINEUX ET APPARENTES				
Ferrugineux	Burkina Faso 3, 5, 6, 8*	0,05 à 0,32	0,08 à 0,40*	< 0,001 à 0,103*
	Niger 8*	-	0,20*	0,071*
"Podzolico"	Brésil 7	0,10	0,03 à 0,23	0,10 à 0,25
Ultisols	Hawaï 10	0,10	-	-
SOLS ISOHUMIQUES SUB-ARIDES, BRUNS TROPICAUX ET APPARENTES				
Isohumique sub-aride	Burkina Faso 8*	-	0,20 à 0,63*	0,053 à 0,266*
	Niger 8*	-	0,18 à 0,43*	0,051 à 0,097*
"Bruns non calciques"	Brésil 7	0,05 à 0,10	0,10 à 0,20	-
SOLS MONOTAUX DIVERS				
23 parcelles plaines aëric.	Etats-Unis 9	0,03 à 0,69	-	-
Vertisols	Hawaï 10	0,28 à 0,32	-	-
Andosols	Hawaï 10	0,10 à 0,49	-	-

Légende

Pays d'origine des données et auteurs :

1 : BERTRAND (1967) ; 2 : KALKS (1975) ; 3 : ROOSE (1974, 1975, 1981) ; 4 : VERNEY et al. (1967) ; 5 : C.T.F.T. (1970 à 1975) ; 6 : CHARREAU (1969) ; 7 : LEPRUN (1981, 1985) ; 8\* : COLLINET, LAFFORGUE (1979), COLLINET (1983) ; 9 : WISCHMEIER, SMITH (1978) ; 10 : EL SWAIFY, DANGLER (1976).

TABLBAU LXVII

Comparaison de quelques valeurs limites du facteur "types de couverts végétaux" obtenues selon deux méthodes : a) C.USA. mesuré à partir de l'équation universelle de prédiction des pertes en terre" de WISCHMEIER et SMITH (1960, 1978), et b) c.SIM mesuré sous simulation de pluies

TYPE 1	ORIGINE 2	C. USA. mesur. 3	c. SIM 4
VEGETATION NATURELLE			
Forêt ombrophille sempervirente	Côte d'Ivoire 3	0,001	-
	Gabon 11	0,001	-
Forêt tempérée	Etats-Unis 9	< 0,001 à 0,009	-
Savane pré-forestière (saison pluies)	Côte d'Ivoire 3, 8*	0,01	0,003 à 0,019
Steppe herbueuse soudano-sahél.	Burkina Faso et Niger 8*	-	0,160 à 1,0*
Prairie surpâturée (soudano-guinéen)	Côte d'Ivoire 3	0,10	-
CULTURES			
- Céréales mil, sorgho	Burkina Faso et Niger 3	0,40 à 0,90	-
- riz pluvial	Côte d'Ivoire 3, 8*	0,10 à 0,20	0,020 à 0,161*
- blé, maïs, avoine	Brésil 7	0,09 à 0,14	-
- Plantes à racines et tubercules	Côte d'Ivoire 3	0,20 à 0,80	-
- Légumineuses à graines	Côte d'Ivoire 3	0,40 à 0,80	-
	Brésil 7	0,67	-
- Cultures arborées et arbustif	Côte d'Ivoire 3	0,10 à 0,30	-

Légende

2 : Pays d'origine des données et auteurs ; 3 : ROOSE (1974, 1975, 1981) ; 7 : LEPRUN (1981, 1985) ; 8\* : COLLINET (1987) ; 9 : WISCHMEIER, SMITH (1978) ; 11 : COLLINET (1973).

**Tableau LXVIII**  
Hétérogénéité des comportements hydriques  
et régularité des micromodèles des parcelles.

SITES	SITUATION	h	a	b	r	ll	A	n	w
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
OURLI 1	naturelle	s	0,59	11,69	0,993**	28,7			
		r	0,31	15,66	0,898**	22,6	0,490	0,099	0,34
		h	0,16	18,73	0,485*	22,4			
	labourée	s	0,27	15,31	0,925**	21,2			
		r	0,12	10,00	0,703**	11,4	0,167	0,016	0,36
		h	0,03	11,88	0,272ns				
OURLI 2	naturelle	s	0,16	1,31	0,991**	1,6			
		r	0,10	0,64	0,759**	0,7	0,494	0,045	0,19
		h	0,07	2,51	0,481*	2,7			
	labourée	s	0,17	2,20	0,995**	2,7			
		r	0,07	1,36	0,545*	1,5	0,331	0,024	0,13
		h	0,07	-1,95	0,433ns				
OURLI 3	naturelle	s	0,15	-0,67	0,975**	0,8			
		r	0,04	3,37	0,572*	3,5	0,379	0,081	0,53
		h	0,02	4,01	0,277ns				
	labourée	s	0,13	4,53	0,974**	5,2			
		r	0,03	5,68	0,308ns	2,9	0,309	0,029	0,22
		h	0,04	2,84	0,505*				
GALMI 1	naturelle	r	0,00			6,35			
		h	0,11	11,13	0,608*	11,0	0,268	0,017	0,32
	labourée	r	0,03	12,49	0,432*	12,5			
		h	0,03	7,82	0,466*	8,1	0,452	0,041	0,98
GALMI 2	billons isohypses	r	0,73	3,41	0,953**	12,9			
		h	0,49	1,94	0,709**	3,8	0,256	0,032	0,03
	billons longitud.	r	0,86	1,44	0,999**	10,5			
		h	0,54	12,19	0,865**	26,5	0,483	0,035	0,23
GALMI 3	naturelle	h	0,03	12,78	0,405*	13,4	0,323	0,057	0,03
	labourée	h	0,05	16,23	0,908**	15,5	0,120	0,011	0,01
GALMI 4	billons isohypses	r	0,11	4,23	0,863*	4,8			
		h	0,11	1,02	0,682*	1,1			
	naturelle	h	0,19	6,29	0,746**	7,8			
GALMI 5	labourée	h	0,09	5,12	0,416*	5,6			
	billons isohypses	r	0,32	4,17	0,533*	6,1			
		h	0,15	2,64	0,665**	3,1			
GALMI 6	billons longitud.	r	0,05	8,54	0,255ns				
		h	0,15	2,90	0,507*	3,4			
	naturelle	h	0,02	10,33	0,582*	10,6			
GALMI 7	labourée	h	0,12	6,49	0,690*	7,3			
	billons isohypses	r	0,18	2,36	0,757**	2,9			
		h	0,22	1,60	0,687*	2,1			

Tableau LXVIII (suite)

SITES	SITUATION	h	a	b	r	ll	A	n	w
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
POUNI 1	naturelle	h	0,06	4,59	0,574*	4,9	0,290	0,072	0,05
	labourée	h	0,16	25,01	0,521*	29,9	0,250	0,059	0,11
POUNI 2	naturelle	h	0,08	40,21	0,179ns		0,724	0,094	0,25
	labourée	h	0,73	12,25	0,975**	45,4			
POUNI 3	naturelle	h					0,281	0,025	0,02
	labourée	h	0,05	3,41	0,232ns		0,254	0,021	0,04
ST PAUL 1	naturelle	h	0,24	-4,35	0,775**	5,7	0,218	0,040	0,02
	labourée	h	0,00			17,5	0,228	0,039	0,10
ST PAUL 2	naturelle	h	0,08	5,31	0,536**	5,7	0,150	0,010	0,01
	labourée	h	0,03	11,89	0,192ns		0,143	0,014	0,04
BATANGA 1 phase "a"	naturelle	h	0,65	2,55	0,547*	7,3			
	labourée	h	0,44	20,27	0,545*	36,1			
BATANGA 1 phase "b"	naturelle	h	0,15	1,90	0,471*	2,2	0,720	0,089	0,10
	labourée	h	0,07	2,28	0,591*	2,4	0,460	0,040	0,10
LOUMBILA	naturelle	h	0,00			10,3	0,200	0,030	0,20
	labourée	h	0,16	7,78	0,414*	9,3	0,290	0,033	0,10
KORHOGO 1	naturelle	r	0,00			13,3			
	labourée	r	0,11	9,21	0,904**	10,4			
KORHOGO 2	naturelle	r	0,00			32,0			
	labourée	r	-0,36	53,59	-0,874**	39,4			
KORHOGO 4	naturelle	r	0,04	14,71	0,647*	15,3			
	labourée	r	0,08	10,77	0,575**	11,8			
KORHOGO 5	naturelle	r	0,26	-4,40	0,897*	6,0			
	labourée	r	0,11	6,60	0,889**	7,5			
SAKASSOU 1	naturelle	r	0,56	7,77	0,924**	17,9			
	labourée	r	0,37	21,53	0,631*	34,1			
SAKASSOU 2	naturelle	r	0,08	6,49	0,625*	7,1			
	labourée	r	0,02	17,91	0,340ns				
SAKASSOU 3	savane hie.	r	0,72	6,47	0,888**	23,3			
	sais. pluies	h	0,31	22,90	0,540**	33,4	0,435	0,063	0,80

Tableau LXVIII (suite)

SITES	SITUATION	h	a	b	r	Il	A	n	u
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	labourée sais.pluies	r 0,16 h 0,05	2,22 7,43	0,980** 0,278ns	2,6		0,140:0,012:0,11		
SAKASSOU 2	naturelle sais.sèche	r 0,00 h 0,23	18,74	0,744**	49,8 24,7		0,155:0,019:0,92		
	labourée sais.sèche	r 0,00 h 0,00			25,6 14,3		0,168:0,021:0,42		
SAKASSOU 2	savane hte. sais.pluies	r pas h 0,78	de ruissellement	>62,5 50,9					
	labourée sais.pluies	r 0,37 h 0,11	2,99 7,14	0,734ns 0,733*	8,0		0,146:0,017:0,50		
SAKASSOU 3	naturelle sais.sèche	r 0,22 h 0,13	12,84 4,70	0,390ns 0,498*	5,4				
	labourée sais.sèche	r 0,17 h 0,03	4,78 3,61	0,823* 0,278ns	5,8				
	savane hte. sais.pluies	r 0,25 h 0,00	0,61	0,458*	0,8 20,3		0,466:0,130:0,26		
	labourée sp	r 0,00 h 0,00			16,5		0,154:0,020:0,22		
SAKASSOU 41	naturelle sais.sèche	r 0,64 h 0,37	21,13 28,68	0,984** 0,914**	58,8 45,8		0,262:0,046:0,04		
	labourée sais.sèche	r 0,54 h 0,18	16,40 19,66	0,759* 0,709*	35,9 23,9		0,142:0,016:0,28		
SAKASSOU 42	naturelle sais.sèche	r 0,48 h 0,43	24,97 18,07	0,863* 0,928**	48,4 31,5		0,315:0,053:0,10		
	labourée sais.sèche	r 0,00 h 0,00			25,0 18,3		0,102:0,008:0,02		
TAI 1	défriche forestière	r 0,00 h 0,27	14,65	0,737**	39,3 20,1		0,539:0,348:0,33		
	labourée	r 0,37 h 0,29	20,31 15,29	0,747* 0,725**	32,4 21,5		0,087:0,017:0,97		
	rizière	r 0,66 h 0,37	6,49 16,88	0,881** 0,837**	19,4 26,7		0,526:0,507:0,15		
TAI 3	défriche forestière	r 0,30 h 0,26	21,72 12,37	0,786** 0,855**	31,1 16,8		0,529:0,204:0,17		
	labourée	r 0,00 h 0,05	9,13	0,691**	12,3 9,6		0,270:0,067:0,99		
TAI 3	rizière	r 0,18 h 0,25	24,28 11,63	0,803** 0,948**	29,5 15,6		0,330:0,092:0,04		

Tableau LXVIII (suite)

colonnes 4 et 5 : "a" et "b" = pentes et ordonnées à l'origine des droites de régression de  $I_m$  en  $F_n$  dans l'équation  $F_n = a I_m + b$ ,  
 colonne 6 : r = coefficient de corrélation et test de signification, \*\* (significatif à 1 %), \* (significatif à 5 %), ns (non significatif),  
 colonne 7 :  $I_l$  = intensité limite de la pluie provoquant les premiers ruissellements (en mm/h),  
 colonne 8 : A = coefficient de MANNING,  
 colonne 9 : n = coefficient de rugosité,  
 colonne 10 :  $\omega$  = proportions de parcelle offertes à l'infiltration après l'arrêt de la pluie.

NB 1 : sur les sites d'OURS : autant de couples de parcelles que d'intensités de pluies,

NB 2 : sur BATANGA : 1ère phase correspondant aux réactions du sol dont les fentes de dessiccation ne sont pas toutes refermées, 2nde phase, réactions du sol avec fentes de dessiccation toutes refermées.

=====

## Légende

colonne 1 : sites expérimentaux,  
 colonne 2 : situations expérimentales des parcelles,  
 colonne 3 : h = humidité antérieure des parcelles, s (sec), r (ressuyé),  
 h (humide),

Tableau LXX

Tableau LXX  
Vitesses calculées des courants de ruissellement (MANNING)  
et indice de turbulence (REYNOLDS)

SITES	SITUATION	i	Dm	i H / n	v	Re
1	2	3	4	5	6	7
OURS1 1#	naturelle labourée	1,4 à 3,2 1,7 à 3,3	0,3 à 7,2 0,5 à 2,0	7 à 66 75 à 121	2 à 15 12 à 27	6 à 419 55 539
OURS1 2#	naturelle labourée	0,4 à 0,5 0,4 à 0,5	2,2 à 5,2 1,5 à 2,8	13 à 20 19 à 45	1 à 11 8 à 17	33 513 127 508
OURS1 3#	naturelle labourée	0,7 à 1,0 0,7 à 1,1	1,4 à 4,0 1,3 à 3,1	5 à 60 30 à 38	2 à 17 10 à 16	49 534 135 517
GALMI 1	naturelle labourée billons isoh. anc. bill. lon. nvx. bill. lon.	0,6 0,5 1,3 à 1,6 0,9 0,9	1,3 à 2,7 2,0 à 4,5 0,2 à 2,0 0,5 à 6,3 1,2 à 1,7	46 17 39 à 52 14 à 27 73	12 à 19 6 à 10 3 à 18 4 à 11 18 à 22	159 276 117 463 6 360 19 626 210 365
GALMI 2	naturelle labourée	3,0 2,8	1,6 à 3,4 0,6 à 1,3	30 152	9 à 15 23 à 38	138 495 134 482
POUNI 1	naturelle labourée	7,5 7,5	1,9 à 2,8 1,1 à 2,1	38 46	13 à 16 10 à 16	239 456 110 334
POUNI 2	naturelle	2,5	1,9 à 7,9	17	5 à 14	104 1137
POUNI 3	naturelle labourée	0,9 0,9	1,5 à 3,0 1,3 à 2,7	38 45	10 à 17 12 à 19	153 510 157 497
ST PAUL 1	naturelle labourée	4,5 4,5	0,9 à 2,1 0,8 à 2,1	53 54	11 à 19 10 à 19	99 406 84 393
ST PAUL 2	naturelle labourée	2,6 2,6	0,5 à 1,8 0,4 à 1,6	161 115	23 à 51 13 à 33	128 925 49 421
BATANGA 1	naturelle labourée	0,5 0,5	1,4 à 5,9 1,1 à 4,2	8 18	2 à 6 4 à 10	32 331 46 409
LOUMBILA 1	naturelle labourée	1,4 1,4	1,5 à 3,1 1,2 à 3,0	39 36	11 à 18 9 à 16	162 570 101 491
SAKASSOU 1	savane s.p. labour s.p.	2,3 2,3	0,3 à 3,5 0,7 à 1,5	18 à 36 126	3 à 14 21 à 36	8 363 154 641
SAKASSOU 2	naturelle s.s. labourée s.s. savane s.p. labourée s.p.	3,7 3,7 3,7 3,7	0,3 à 1,3 0,6 à 1,6 0,3 à 1,6 0,6 à 1,5	101 92 40 à 60 113	10 à 27 14 à 27 4 à 12 17 à 31	33 360 87 447 14 188 99 463
SAKASSOU 3	savane s.p. labour s.p.	4,5 4,5	2,8 à 4,9 1,0 à 1,4	16 106	7 à 10 23 à 28	202 496 224 396
SAKASSOU 4	naturelle labourée	2,8 à 3,8 2,8 à 3,8	0,4 à 2,5 0,4 à 1,3	32 à 83 122 à 209	4 à 27 20 à 47	21 542 90 497
TAI 1	défrichée labourée rizière	19,8 19,8 19,8	1,0 à 5,4 0,2 à 0,8 0,2 à 8,0	13 262 6 à 20	3 à 8 16 à 48 1 à 5	29 457 27 381 38 385
TAI 3	défrichée labourée rizière	7,2 7,3 7,3	1,4 à 5,0 1,2 à 2,8 0,8 à 3,2	13 40 26 à 34	3 à 6 10 à 17 6 à 16	47 424 124 494 50 494

## Légende

- colonne 1 : sur les sites d'OURS1, autant de couples de parcelles que d'intensités de pluies,  
colonne 2 : billons isoh. = billons isohypses  
anc. bill. lon. = ancien billonnage effectué selon la ligne de plus grande pente  
nvx. bill. lon. = billonnage nouvellement dressé selon la ligne de plus grande pente,  
savane s.p. = couvert herbacé de saison des pluies,  
labour s.p. = parcelle labourée à plat pendant la saison des pluies  
défrichée = parcelle préparée pour la culture du riz pluvial en milieu forestier (défriche et brûlis),  
colonne 3 : i = pente topographique en %,  
colonne 4 : Dm = épaisseur de la lame d'eau détenu superficiellement pendant la phase de régime constant du ruissellement (en mm),  
colonnes 5 et 6 : paramètres de la formule de MANNING et vitesse du courant v (cm/sec.),

$$v = \frac{Dm^{2/3} \times 1^{1/2}}{n}$$

- colonne 7 : Re = indice de turbulence de REYNOLDS =  $\frac{v \times Dm}{\delta}$

avec  $\delta$  = viscosité de l'eau à 20°C. ( $\# 10^{-2} \text{cm}^2/\text{sec.}$ )

TABLEAU LXXIV  
Erosion liée au courant de ruissellement.  
paramètres des équations  
 $Cx = f(R_x)$  et  $Cx = f(v)$ .

SITES	n	TY	$Cx = aR_x + b$			TY	$Cx = av + b$		
			a	b	r		a	b	r
	2	3	4	5	6	7	8	9	10
GURSI 1 nat. lab.	19	3	-0,050	3,07	-0,50*	4	-	-	-
	14	3	-0,190	17,80	-0,51*	4	-	-	-
GURSI 2 nat. lab.	23	2	-	1,76	-	4	-	-	-
	29	1	0,040	2,37	0,51**	1	0,370	0,45	0,79**
GURSI 3 nat. lab.	19	1	0,006	0,34	0,46*	2	-	1,22	-
	13	1	0,053	-1,06	0,80**	1	0,830	-8,10	0,78**
GALMI 1 nat. lab.	10	4	-	-	-	2	-	0,52	-
biil. isoh.	6	2	-	1,06	-	3	-0,070	1,71	-0,51**
	5	1	0,020	0,89	0,50**	1	0,150	-0,24	0,63*
GALMI 2 nat. lab.	6	2	-	1,77	-	4	-	-	-
biil. isoh.	7	1	0,020	2,57	0,30**	1	0,099	0,77	0,30**
	16	1	0,032	2,17	0,60**	-	-	-	-
GALMI 3 nat. lab.	11	2	-	2,28	-	-	-	-	-
biil. isoh.	7	2	-	3,69	-	-	-	-	-
biil. long.	8	2	-	3,25	-	-	-	-	-
	7	1	0,151	-0,65	0,87**	-	-	-	-
SALMI 4 nat. lab.	6	2	-	2,11	-	-	-	-	-
biil. isoh.	6	1	0,111	-0,59	0,75*	-	-	-	-
	13	4	-	-	-	-	-	-	-
POUNI 1 nat. lab.	7	2	-	0,36	-	4	-	0,27	-
	6	1	-	2,43	-	1	0,025	2,22	0,25**
POUNI 2 nat. lab.	10	2	-	0,20	-	2	-	0,20	-
	9	2	-	0,15	-	2	-	0,15	-
POUNI 3 nat. lab.	11	2	-	2,53	-	4	-	-	-
	10	1	0,016	1,51	0,34**	1	0,181	0,15	0,32**
SAINT PAUL 1 nat. lab.	7	2	-	0,53	-	2	-	0,29	-
	8	1	0,024	1,80	0,74**	1	0,200	0,01	0,67*
SAINT PAUL 2 nat. lab.	10	1	0,030	1,99	0,57*	1	0,06	0,91	0,38**
	8	3	-0,015	5,05	-0,41**	4	-	-	-
BATANGA 1 nat. lab.	7	2	-	0,75	-	4	-	-	-
	6	3	-0,017	4,82	-0,57*	3	0,290	6,12	-0,55*
LOUMBILA 1 nat. lab.	10	2	-	0,95	-	3	-0,041	1,22	-0,31**
	9	2	-	1,24	-	2	-	1,27	-
KORHOGO 1 nat. lab.									
KORHOGO 2 nat. lab.	9	2	-	0,25	-	-	-	-	-
	10	1	0,012	0,64	0,60*	-	-	-	-
KORHOGO 4 nat. lab.	6	2	-	1,22	-	-	-	-	-

Tableau LXXIV (suite)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
KORHOGO 5 nat. lab.	5	3	-	0,81	-0,76*	-	-	-	-
SAKASSOU 1 nat. lab.	6	3	-0,024	1,56	-0,87*	-	-	-	-
savane lab. s.p.	6	2	-	0,15	-	2	-	0,15	-
	6	1	0,003	2,24	0,20**	1	0,091	-0,20	0,60**
SAKASSOU 2 nat. lab.	5	2	-	2,14	-	2	-	2,19	-
savane lab. s.p.	6	2	-	0,15	-	2	-	0,15	-
	7	3	-0,003	1,08	-0,45**	3	-0,020	1,57	-0,84**
SAKASSOU 3 nat. lab.	6	3	-0,005	1,73	-0,27**	-	-	-	-
lab. s.p.	7	1	0,003	2,97	0,33**	1	0,767	-16,01	0,97**
SAKASSOU 4 nat. lab.	14	2	-	0,88	-	1	0,050	0,26	0,83**
TAI 1 déf. lab.	13	2	-	0,18	-	4	-	-	-
riz.	16	1	0,016	0,74	0,75**	1	0,050	-0,32	0,84**
	15	2	-	0,10	-	2	-	0,11	-
TAI 3 déf. lab.	22	1	0,001	0,15	0,44*	1	0,032	0,02	0,46**
riz.	18	1	0,130	4,18	0,78**	1	1,032	-1,47	0,72**
	20	2	-	0,10	-	2	-	0,10	-

Légende

Colonne 1 : sites et situations expérimentales,  
Colonne 2 : n = effectif des couples de variables  $Cx$ ,  $R_x$ ,  
Colonnes 3 et 7 : TY = typologie des réactions érosives des parcelles (cf. chapitre 1 de la quatrième partie),  
Colonnes 4, 5, 6, 8, 9, 10 : paramètres des équations de régression,  
a = pentes des droites de régression,  
b = ordonnées à l'origine,  
r = coefficient de corrélation et test de signification (\*\* → significatif à 0,01, \* → significatif à 0,05, \*\* → non significatif



Tableau LXXVIII

Sélectivité de l'érosion hydrique, variation des classes granulométriques des sédiments avec l'érosivité cumulée

SITES	A	L.F.	L.G.	S.F.	S.G.
1	2	3	4	5	6
GALMI 1 nat.	- 200 +	+ ↓	+ ↓	- 0	- 150 +
lab.	+ ↓	+ ↓	+ ↓	- 0	- 450 +
billon isoh.	+ 250 -	+ ↓	+ 250 -	- 0	- 400 +
billon long.	+ ?	+ ↓	+ 500 -	- 0	+ 100 -
GALMI 2 nat.	+ ↓	+ ↓	TRI = 1,0	- 0	+ 150 -
lab.	- 0	+ ↓	- 250 +	- 500 +	- 150 +
billon isoh.	+ ↓	+ ↓	- +	- +	- 0
GALMI 3 nat.	+ 500 -	+ 550 -	- 0	- 0	+ 0
lab.	+ 200 -	+ ↓	- 500 +	- 750 +	+ 800 -
billon isoh.	+ ↓	+ ↓	- 0	- 0	- 200 +
billon long.	+ ?	+ ?	- 0	- 0	- 100 +
GALMI 4 nat.	- +	+ ↓	+ ↓	- +	- +
lab.	- +	+ ↓	donn, absent	- +	don, absen
billon isoh.	- 0	- 0	- +	- ↓	+ ?
KORHOGO 1 nat.	+ ↓	+ ↓	- +	+ 0	- 0
lab.	+ 250 -	+ +	- +	- +	- +
KORHOGO 2 nat.	+ ↓	+ ↓	- 0	- +	- +
lab.	+ ↓	+ ↓	- 0	- +	- +
KORHOGO 5 nat.	+ +	+ +	- +	- +	- ↓
lab.	+ 750 -	+ 800 -	- 0	- 600 +	- 800 +
SAKASSOU 1 nat.	+ 0	+ +	- 0	- +	- ↓
lab.	+ 400 -	- 800 +	- ↓	- 700 +	+ ↓
SAKASSOU 2 nat.	+ 1100 -	+ ↓	+ 300 -	- +	- +
lab.	+ 450 -	+ ↓	+ 500 -	- 900 +	TRI # 1,0
SAKASSOU 3 lab.	+ ↓	- 0	- +	- +	+ ↓
SAKASSOU 41 nat.	+ 700 -	+ 0	+ ↓	- 700 +	- +
lab.	- ↓	- 0	- 0	- 600 +	+ ↓
SAKASSOU 42 nat.	+ 0	+ 0	TRI # 1,0	TRI # 1,0	- 0
lab.	+ 600 -	- ↓	- 0	- 400 +	TRI # 1,0
TAI 1 défrich.	- ↓	+ +	- 0	- 0	- ↓
lab.	- 900 +	+ +	- ↓	- 0	- 0
TAI 3 défrich.	- +	+ ?	+ ↓	- ↓	+ +
lab.	- ↓	+ 650 -	+ 650 -	- 1200 +	+ 0
riz pluvial	+ ↓	+ -	TRI # 1,0	-	-

## Légende

colonne 1, situations expérimentales :

- nat. = sol en son état naturel de fin de saison sèche
- lab. = sol labouré à plat
- billon isoh. = billonnage manuel effectué selon les courbes de niveau
- billon long. = billonnage selon la pente
- défrich. = sur TAI préparation du terrain pour un semis de riz,

Tableau LXXVIII (suite)

colonnes 2 à 6, classes granulométriques :

- A = argile
- LF = limon fin
- LG = limon grossier
- SF = sable fin
- SG = sable grossier,

dans les rangées : évolution du tri granulométrique des différentes fractions dans les sédiments et sur le sol en place, avec le coefficient "TRI"

$$TRI = \frac{\% \text{ éléments d'une classe donnée dans le sédiment}}{\% \text{ éléments de la même classe dans le sol}}$$

- + si TRI > 1,0
- - si TRI < 1,0
- + SEV - indique une diminution de TRI avec l'érosivité cumulée SEV dont la valeur est indiquée pour TRI # 1,0,
- - SEV + indique une augmentation de TRI avec l'érosivité cumulée SEV dont la valeur est indiquée pour TRI # 1,0,
- + indique une relation croissante de TRI = f(SEV)
- 0 TRI est constant,
- ↓ indique une relation décroissante de TRI = f(SEV)
- ? les variables TRI et SEV sont indépendantes.




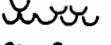



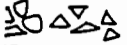
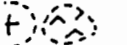


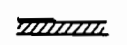
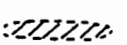
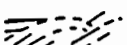

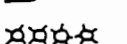
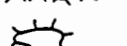
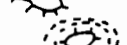

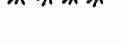

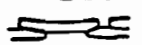



## A N N E X E 3

Caractérisation des sols  
des différents sites expérimentaux



## ORGANISATIONS SUPERFICIELLES

## LEGENDE (ensemble des descriptions)

-  : chaumes érigés (généralement graminéens)  
 : débris végétaux divers posés sur la surface du sol  
 : traces d'activité biologique (vers, termites etc...)  
 : accumulations organo-minérales  
 : éléments grossiers (graviers, cailloux ferrugineux)  
 : éléments grossiers (graviers, cailloux de quartz)  
 : fragments rocheux divers  
 : accumulations sableuses fines meubles et boulanges  
 : accumulations sableuses fines cohérentes  
 : pellicules argilo-limoneuses cohérentes  
 : reliquats de pellicules argilo-limoneuses cohérentes  
 : stratifications  
 : traces d'impacts de gouttes de pluie (battance)  
 : alignement de vésicules sphériques  
 : porosités vésiculaires isolées  
 : argilanes associés aux porosités  
 : chevelu racinaire fin (et orientation)  
 : différenciations structurales diverses  
 a) grumeleuses  
 b) lamellaires  
 c) cubiques  
 d) polyédriques  
 e) prismatiques

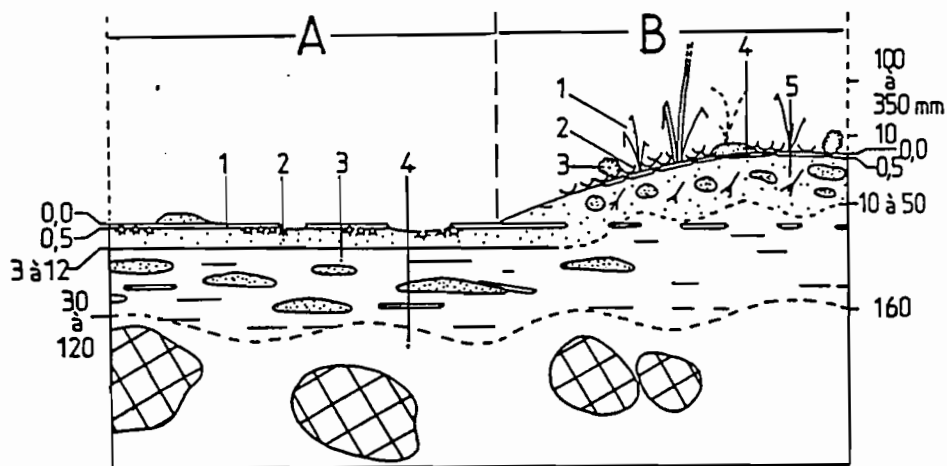


Figure n° II.17 : ORGANISATIONS SUPERFICIELLES DU SITE GALMI 1 (état naturel)

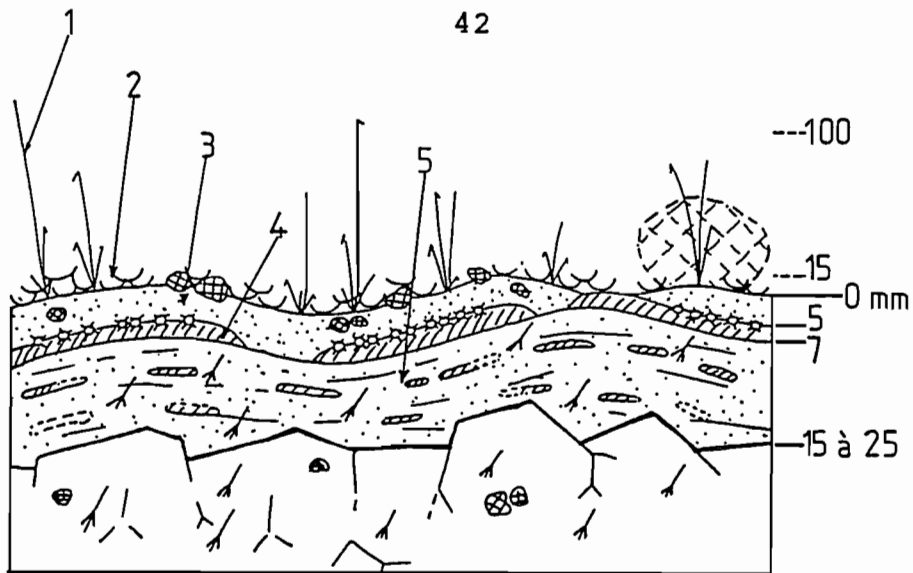


Figure n° II.18 : ORGANISATIONS SUPERFICIELLES DU SITE GALMI 2 (état naturel)

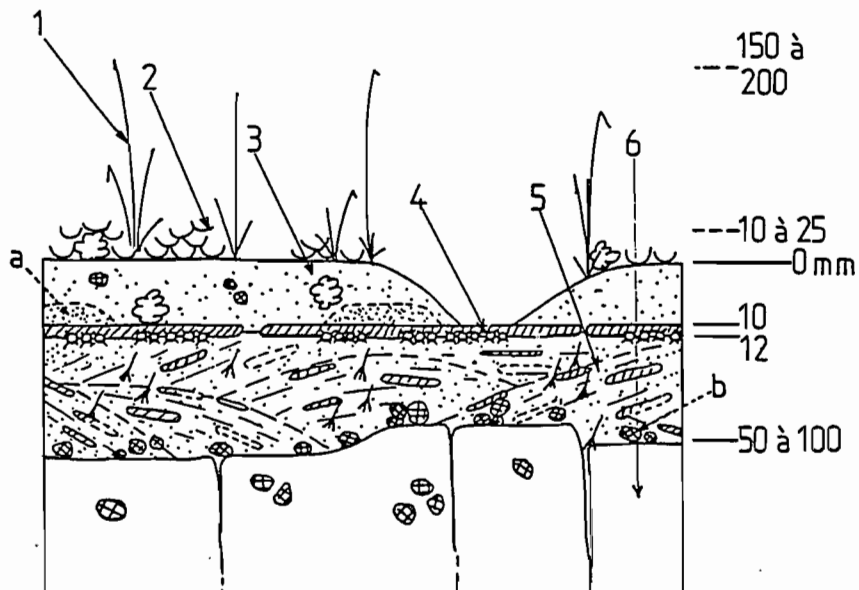


Figure n° II.19 : ORGANISATIONS SUPERFICIELLES DU SITE GALMI 3 (état naturel)

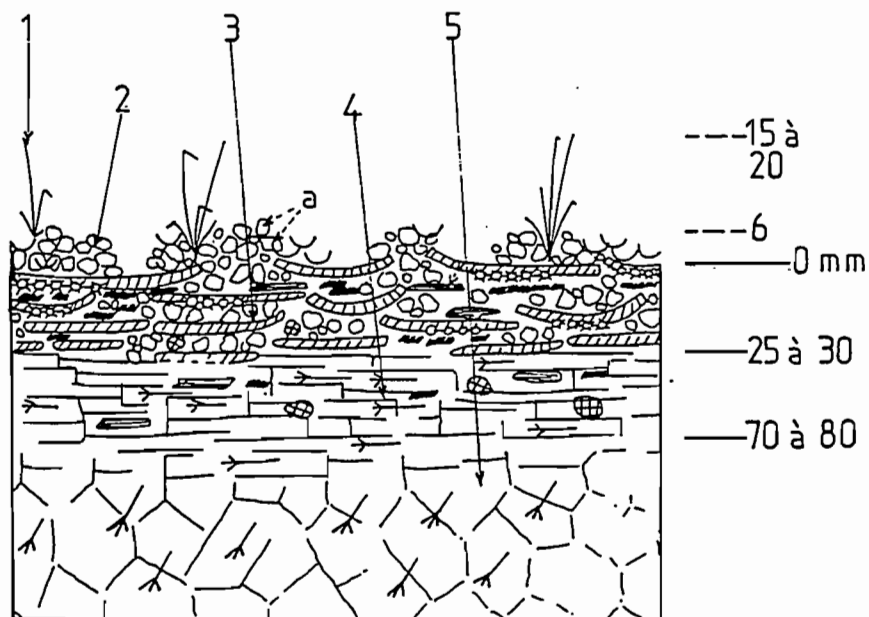


Figure n° II.20 : ORGANISATIONS SUPERFICIELLES DU SITE GALMI 4 (état naturel)

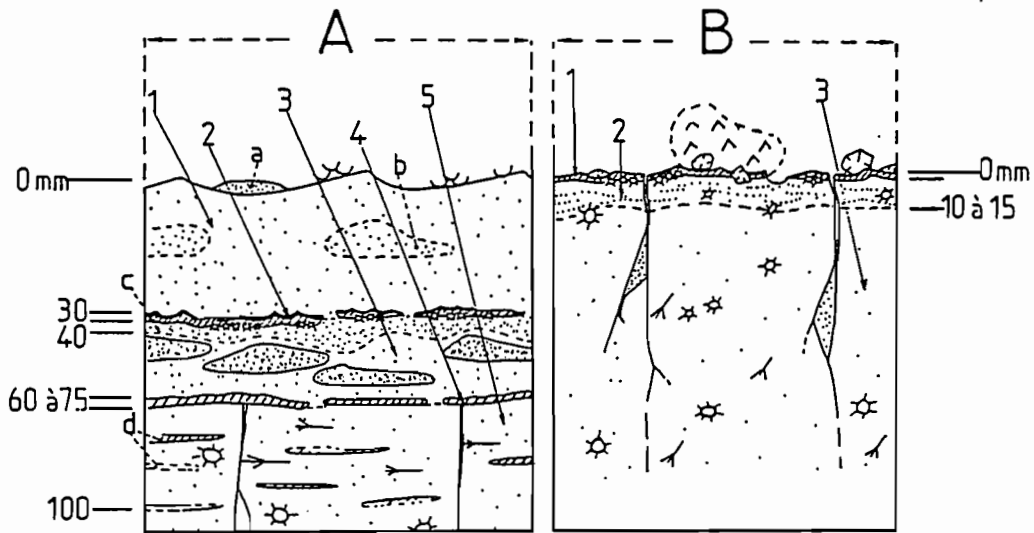


Figure n° II.29 : ORGANISATIONS SUPERFICIELLES  
DU SITE OURSI 1 (état naturel)

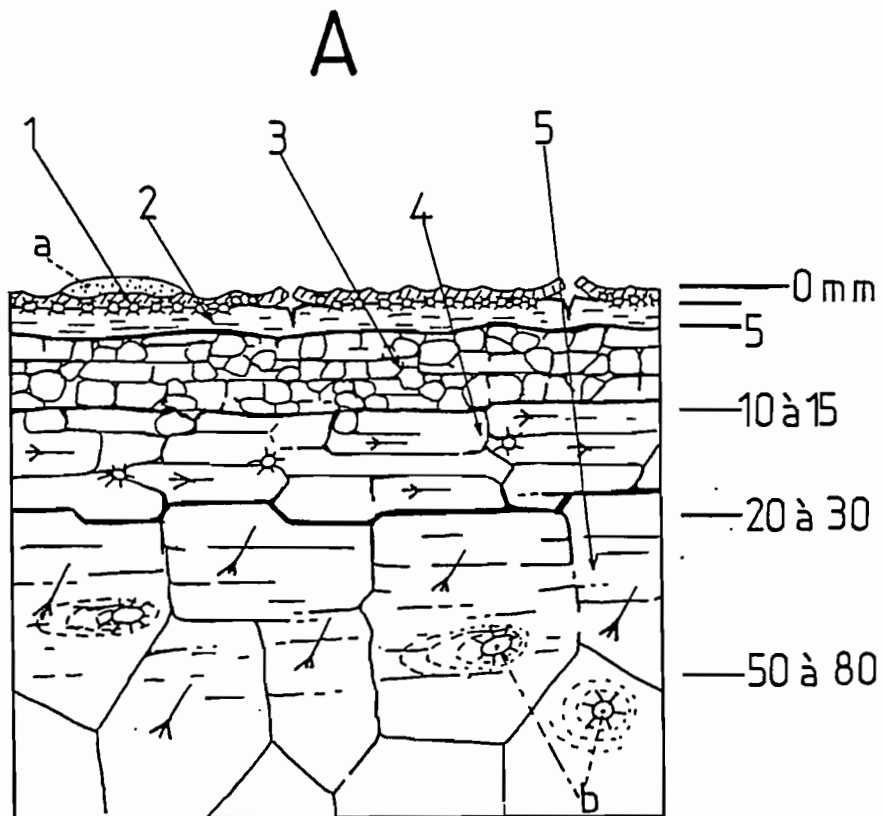


Figure n° II.30 : ORGANISATIONS SUPERFICIELLES  
DU SITE OURSI 2 (état naturel)

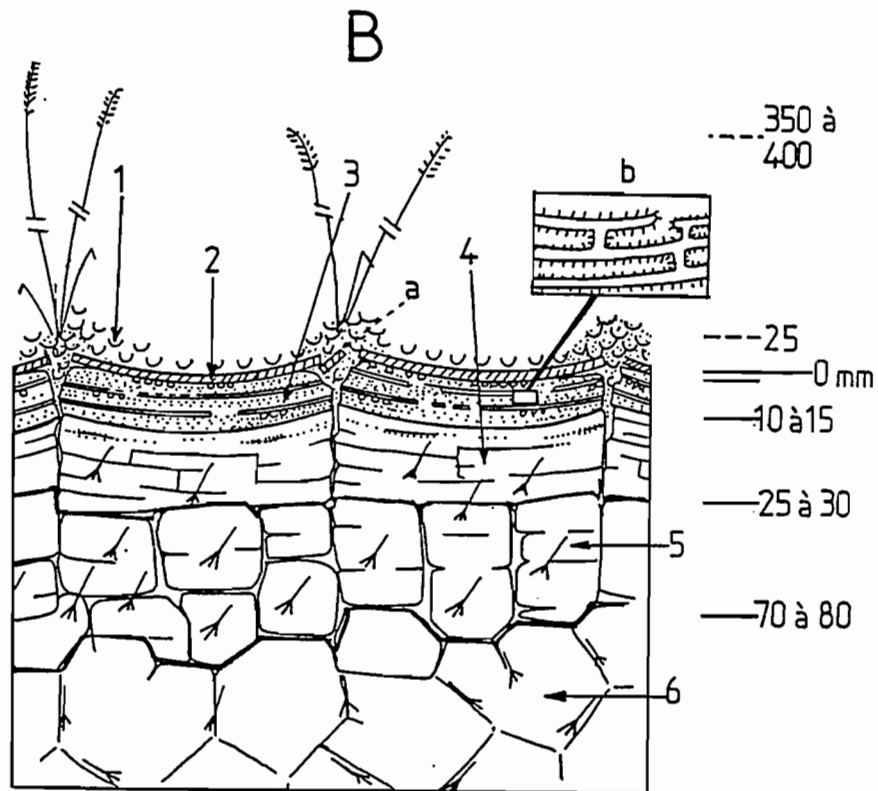


Figure n° II.30' : ORGANISATIONS SUPERFICIELLES  
DU SITE OURSI 2 (état naturel)

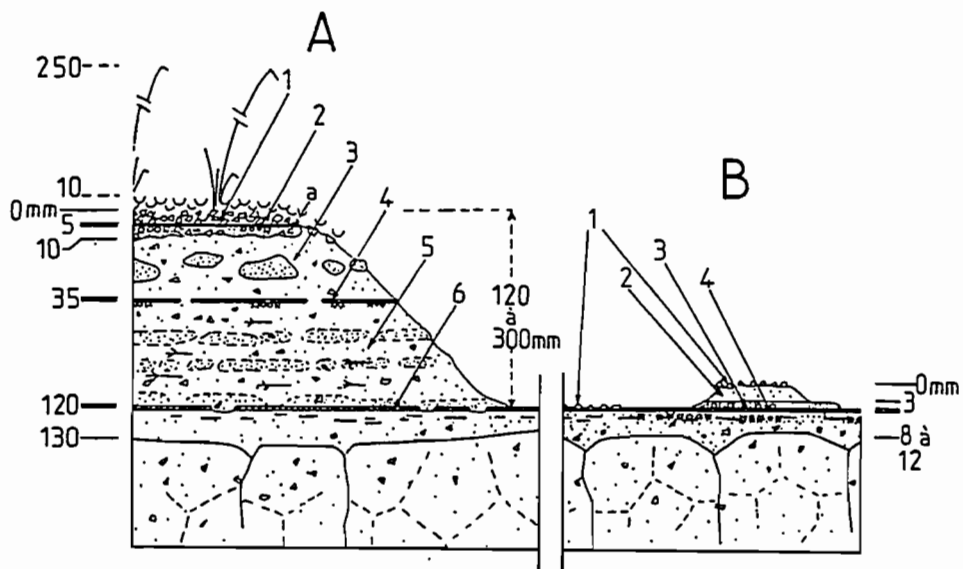


Figure n° II.30'' : ORGANISATIONS SUPERFICIELLES  
DU SITE OURSI 3 (état naturel)



## PROFIL : GALMI 1

**LOCALISATION** : Niger, Département de Tahoua, Arrondissement de Madaoua, Bassin versant de Galmi II (étude hydrologique GRSTOM), 13°57'N - 05°42'E, sur le plateau du Continental Terminal, altitude 390 m., 200 m avant la corniche, pente 0,5 à 1,5 %.

**DATE** : février 1980

**CLIMAT** : sahélo-soudanais, pluviométrie moyenne à Birni N'Koni : 560 mm (1934 à 1975) et à Madaoua : 480 mm (1936 à 1975).

**MATERIAU ORIGINEL** : dépôts sableux éoliens anciens dits "de plateau" sur les grès ferruginisés du Continental Terminal (CT 1 de l'Ader Doutchi)

**CLASSIFICATION** (selon C.P.C.S. 1967) : Sol à sesquioxydes de fer (ou intergrade vers les Régosols) (Class.), ferrugineux tropical (S/Class.), peu lessivé (Gr.), modal (S/Gr.), sur sables éoliens anciens et grès ferruginisés du Continental Terminal (Fam.), peu épais (Sér.).

### DESCRIPTION DU PROFIL TYPE :

- de 0 à 3 ou 16 cm -

cf. "Description des organisations superficielles" ainsi que la figure n°26

- de 3 ou 16 à 40 ou 70 cm ; horizon A -

Sec, 5 YR 5/6 (brun jaunâtre), sans taches ; très peu de gravillons ferrugineux ou lithoreliques ferruginisés ; sablo-argileux ; structure massive juxtaposée à fragmentaire nette, grenue fine (biologique) ; horizon très poreux ; cohérent ; fragile ; quelques racines fines dans la masse de l'horizon ; importantes traces de l'activité des termites qui ont remanié cet horizon (structure grenue) ; transition très nette et irrégulière.

- de 40 ou 70 à 120 cm (limite creusement fosse) ; horizon A-R -

Blocs et cailloux de grès ferruginisés ménageant de nombreuses fissures enlées par le matériau de l'horizon précédent ; la désagrégation physique l'emporte sur l'altération chimique.

**Résumé** : Profil caractéristique des bordures du plateau où fut installé le site GALMI 1 ; les sols s'approfondissent tant soit peu (horizons A + (B) de 120 cm environ) au fur et à mesure que l'on gagne le centre des plateaux mais comme ceux-ci sont découpés en lanières (érosion régressive ancienne), les sols très épais y sont rares ; ces sols sont peu différenciés ; on ne note pas de défaut de drainage interne car les grès sous-jacents sont fragmentés en blocs (servant d'ailleurs à l'édification de murettes délimitant les champs) ; le colmatage de la surface par des organisations pelliculaires est fréquent sur les jachères, ces jachères couvrent de faibles superficies du fait de la forte pression démographique justifiant une utilisation intensive des terres.

### DESCRIPTION DES ORGANISATIONS SUPERFICIELLES

Seules sont décrites ici les organisations de sols en leur état naturel, ou tout au moins celles de sols des plus anciennes jachères ; dans ces conditions environ 50 % sont représentés par des zones pelliculaires dénudées (O.P.S. de type A) et environ 50 % par des zones à ensablement éolien actuel formant des microbuttes de quelque 15 à 20 cm de hauteur et envahies par une végétation graminéenne clairsemée (O.P.S. de type B).

## - O.P.S. de type A -

Succession de 3 rh qui se présentent de la façon suivante :

- 1 - rh de 0,05 à 0,1 cm d'épaisseur constitué par une pellicule de texture fine, cohérente, sub-continue, les interruptions permettent de découvrir un alignement de vésicules sphériques formant une limite nette et régulière avec le rh sous-jacent.

- 2 - rh de 0,3 à 1,0 cm d'épaisseur formé par des sables fins bouillants, rouge jaunâtre.

- 3 - rh de 1,8 à 10 cm environ d'épaisseur constitué par une juxtaposition d'amas sableux fins lenticulaires légèrement cohérents, rouge jaunâtre (détail "a"), de sables bouillants brun vif (détail "b"), contenant des lames horizontales de texture plus fine, cohérentes rappelant la pellicule superficielle (détail "c") ; la transition avec l'horizon A est nette et ondulée.

## - O.P.S. de type B -

Les ensablements se présentent de la façon suivante :

- 1 - strate de chaumes graminéens, morts mais encore érigés sur 10 à 35 cm (consommation par le bétail), très clairssemée.

- 2 - accumulation de débris végétaux sur environ 1,0 cm et déjections biologiques diverses.

- 3 - rh de 0,05 cm, pellicule cohérente de texture fine, très discontinue mais concordant avec la surface de la microbutte.

- 4 - rh de 1,0 à 5,0 cm d'épaisseur, sables bouillants contenant des amas sphériques de sables plus cohérents, quelques racines fines de la strate graminéenne, limite inférieure ondulée.

- 5 - rh de 10 à 14 cm d'épaisseur qui est en fait la prolongation latérale du rh 3 des O.P.S. de type A précédentes (juxtaposition de sables bouillants, cohérents et interstratifications de pellicules fines) ; transition nette ondulée avec l'horizon A sous-jacent.

Résumé : La pellicule de texture fine, cohérente, de la surface des O.P.S. de type A se poursuit assez souvent horizontalement sous les buttes sableuses sur quelques centimètres, les O.P.S. de type B sont donc plus jeunes, et peuvent également s'"encroûter" en surface (rh 3), ce rh se raccorde parfois au rh 1 des O.P.S. de type A.

## DONNEES ANALYTIQUES

## Granulométrie

Prélèv.	Profond. cm	Hor.	E.G. %	A. %	L.F. %	L.G. %	S.F. %	S.G. %
GAL 11	0 à 5	O.P.S. A	1,0	10,3	2,0	3,1	49,5	34,3
GAL 12	5 à 15	O.P.S. A	3,3	14,3	2,8	2,2	43,5	34,6
GAL 21	0 à 5	O.P.S. B	0,1	4,0	1,5	1,3	56,4	35,1
GAL 22	5 à 15	O.P.S. B	0,2	5,3	1,3	1,8	54,8	36,3
GAL 23	20 à 30	A	3,0	18,5	3,8	2,9	42,8	30,9

## Structure

Prélèv.	D.A. g/cm <sup>3</sup>	D.R. g/cm <sup>3</sup>	P.T. %	Agr.a. %	Agr.e. %	Agr.b. %	I s	K cm/h
GAL 11	1,33			44,8	43,2	41,4	1,5	8,7
GAL 12	1,21			47,2	40,6	34,7	1,8	10,2
GAL 21	1,30			42,1	43,1	42,7	0,7	1,5
GAL 22	1,17			42,6	42,9	40,7	0,7	4,9
GAL 23	1,25			54,1	43,4	35,4	1,8	6,9

## Relations sol-eau

Prélèv.	Humidité à $\phi$ potentiels matriciels				Humidité à $\phi$ limites mécaniques			
	pF 4,2	pF 3,0	pF 2,8	pF 2,5	liquid.	plast.	retrait	adhés.
GAL 11	4,2	5,9	6,4	7,9	15,8			15,3
GAL 12	5,5	7,2	7,7	9,9	16,6			15,3
GAL 21	2,9	3,6	3,7	4,5	17,0			15,9
GAL 22	2,8	3,5	3,7	4,4	16,3			15,7
GAL 23	6,8	8,4	9,0	11,6	17,4		14,5	16,0

## Complexe absorbant

Prélèv.	M.D.	C/N	Bases échangeables				S	T	S/T	pH eau
	%		Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	mé/100g		%	
GAL 11	0,4	9,3	0,30	0,15	0,06	0,02	0,53	2,47	21,5	4,8
GAL 12	0,4	9,6	0,32	0,16	0,05	0,02	0,55	2,91	18,9	4,6
GAL 21	0,4	10,6	0,57	0,30	0,10	0,02	0,99	1,72	57,6	6,1
GAL 22	0,3	7,2	0,54	0,26	0,03	0,02	0,85	1,70	50,0	5,7
GAL 23	0,4	10,7	0,75	0,46	0,02	0,02	1,25	3,48	35,9	5,0

## PROFIL : GALMI 2

**LOCALISATION** : Niger, Département de Tahoua, Arrondissement de Madaoua, Bassin versant de Galmi II (étude hydrologique ORSTOM), 13°57'N - 05°42'E, quart supérieur d'un versant de 1800 m, pentes de 2,5 à 3,5 %.

**DATE** : février 1980

**CLIMAT** : sahélo-soudanais, pluviométrie moyenne à Birni N'Koni : 560 mm (1934 à 1975), à Madaoua : 480 mm (1936 à 1975).

**MATERIAU ORIGINEL** : marnes et calcaires de l'Eocène inférieur marin du bassin sédimentaire nigérien (région de l'Ader Doutchi).

**CLASSIFICATION** (selon C.P.C.S. 1967) : Sol isohumique (Class.), à complexe saturé et pédoclimat chaud en saison pluvieuse (S/Class.), brun sub-aride (Gr.), brun-rouge (S/Gr.), sur marnes et calcaires de l'Eocène (Fam.), argilo-sableux à structure grossière (Sér.).

## DESCRIPTION DU PROFIL TYPE :

- de 0 à 1,5 ou 2,5 cm -

cf. "Description des organisations superficielles" ainsi que la figure n°27

- de 1,5 ou 2,5 à 8 ou 10 cm ; horizon A 11 -

Ser, 10 YR 3/2 (brun grisâtre très foncé), sans taches ; très peu de gravillons ferrugineux ; sablo-argileux ; structure fragmentaire nette polyédrique moyenne à grossière, tendance à une

surstructuration cubique en surface ; forte porosité interagrégat ; faible porosité tubulaire fine ; cohérent ; non fragile ; transition distincte et ondulée de structure,

- de 8 ou 10 à 37 ou 48 cm ; horizon A 12 -

Sec, 10 YR 3/3 (brun foncé), sans taches ; très peu de gravillons ferrugineux, très peu de nodules carbonatés ; argilo-sableux fin ; structure fragmentaire nette polyédrique très grossière et surstructuration prismatique moyenne à grossière ; forte porosité interagrégat, faible porosité tubulaire fine ; cohérent ; non fragile ; quelques racines fines dans la masse de l'horizon ; traces d'activité des termites ; transition graduelle et ondulée de couleur et de structure,

- de 37 ou 48 à 115 cm ; horizon A (B) -

Sec, 3,75 YR 3/3 (brun rougeâtre foncé), sans taches ; très peu de gravillons ferrugineux, nodules carbonatés peu abondants ; argilo-sableux ; structure fragmentaire peu nette polyédrique grossière ; porosité interagrégat faible, agrégats non poreux ; cohérent ; non fragile ; fissures verticales tous les 20 à 30 cm au niveau desquelles s'amorcent les structurations ; quelques racines fines sur les fissures et les faces des agrégats,

Résumé : La différenciation est surtout structurale ; structuration caractéristique d'argiles riches en silice ; incorporation homogène de matière organique jusqu'à 40 cm environ, nuances rougeâtres au-delà ; profil partiellement carbonaté ; colmatage important de la surface,

#### DESCRIPTION DES ORGANISATIONS SUPERFICIELLES :

Un seul type d'O.P.S. prédomine, il présente les subdivisions suivantes :

- 1 - strate de chaumes graminéens encore érigés sur 5 à 10 cm, clairsemés, en touffes, quelques cailloux et blocs de cuirasse (éboulis de l'amont), rares fragments de calcaire.

- 2 - lit discontinu de débris végétaux, quelques gravillons ferrugineux posés sur la surface du sol,

- 3 - rh de 0,5 cm composés de sables et limons de teinte claire, bouillants, quelques gravillons ferrugineux, rh discontinu dégageant le rh sous-jacent,

- 4 - rh de 0,1 à 0,2 cm d'épaisseur qui est une pellicule de texture fine, brun jaunâtre foncé, discontinue, alignement de vésicules sphériques exceptionnellement sur sa face supérieure, ondulée,

- 5 - rh de 7 à 8 cm d'épaisseur, alternance de lits sableux bruns, bouillants et de lames de texture fine suggérant des reliquats de pellicule de battance, quelques racines fines de la strate graminéenne dans la masse de ce rh, limite inférieure extrêmement nette car ce rh "moule" les faces supérieures des unités structurales de l'horizon A 11 sous-jacent,

Résumé : pas de pellicule de battance en surface, disposition peu fréquente du lit de vésicule dans le rh 4, contact abrupt avec l'horizon A 11 ; les dépôts sableux éoliens ont "isolé" les unités structurales de l'horizon A 11 d'une trop importante et rapide dessiccation, d'autre part sa texture trop grossière ne peut pas fournir de copeaux de dessiccation,

#### DONNEES ANALYTIQUES

##### Granulométrie

Prélév.	Profond.	Hor.	E.G.	A.	L.F.	L.G.	S.F.	S.G.
	cm		%	%	%	%	%	%
GAL 91	0 à 0,5	O.P.S.	3,6	12,0	4,5	3,0	47,0	31,5
GAL 92	0,5 à 2,5	O.P.S.	8,8	18,8	6,8	6,0	37,0	27,5
GAL 121	2,5 à 5	A 11	2,9	22,0	5,8	6,9	38,1	24,5
GAL 122	5 à 10	A 11	0,6	31,3	7,8	3,5	30,5	22,0
GAL 123	20 à 30	A 12	0,8	33,3	8,8	2,7	27,4	22,5
GAL 124	55 à 65	A (B)	1,8	35,5	11,5	2,7	23,9	22,9
GAL 125	100 à 110	A (B)	2,4	37,5	9,8	3,6	23,9	20,7

## Structure

Prélév.	D.A.	D.R.	P.T.	Agr.a.	Agr.e.	Agr.b.	I s	K
	g/cm <sup>3</sup>	g/cm <sup>3</sup>	%	%	%	%		cm/h
GAL 91				35,1	33,2	33,4	1,2	6,6
GAL 92	1,33	2,57	48,2	39,5	33,2	31,0	1,8	5,9
GAL 121	1,30	2,56	49,4	40,5	32,0	30,5	2,1	10,0
GAL 122	1,73	2,56	32,4	57,2	41,0	31,2	0,7	17,4
GAL 123	1,69	2,53	33,3	55,2	39,8	29,5	0,8	6,7
GAL 124	1,51	2,53	40,3	56,1	41,0	28,3	1,7	6,6

## Relations sol-eau

Prélév.	Humidité à $\phi$ potentiels matriciels				Humidité à $\phi$ limites mécaniques			
	pF 4,2	pF 3,0	pF 2,8	pF 2,5	liquid.	plast.	retrait	adhés.
	%				%			
GAL 91	4,7	5,9	6,9	8,3	16,4	14,2	15,7	15,4
GAL 92	7,5	10,3	12,1	14,0	17,2	14,0	14,2	17,0
GAL 121	8,5	11,0	12,5	14,7	20,1	16,6	13,7	19,2
GAL 122	10,6	13,8	15,4	16,8	27,5	22,3	13,1	26,2
GAL 123	11,3	14,8	16,5	17,8				
GAL 124	13,3	17,0	19,3	20,8				

## Complexe absorbant

Prélév.	M.O.	C/N	Bases échangeables				S	T	S/T	pH eau
	%	-	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	mé/100g		%	
GAL 121	1,0	12,3	10,74	3,30	0,24	0,03	14,31	15,15	94,5	7,5
GAL 122	1,2	14,2	17,94	3,90	0,19	0,06	22,09	22,10	99,9	7,8
GAL 123	1,1	17,0	18,74	3,20	0,12	0,07	22,13	23,83	92,9	7,9
GAL 124			24,54	3,10	0,17	0,17	27,98	25,95	sat.	8,4
GAL 125			25,34	3,40	0,19	0,21	30,14	27,58	sat.	8,4

## Attaque triacide sur la fraction 0 à 2mm

Prélév.	Rés.q.	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	MnO <sub>2</sub>	P. feu	Rapp. mol.
												SiO <sub>2</sub> /Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
	%											
GAL 121	72,20	9,00	4,22	5,10	0,78	0,45	0,26	0,07	0,04	0,07	3,25	3,22
GAL 123	76,80	9,40	4,32	4,44	0,65	0,42	0,24	0,06	0,03	0,05	3,40	3,70
GAL 125	62,50	15,50	8,90	4,90	0,74	0,40	0,49	0,40	0,05	0,09	5,10	2,96

## PROFIL : GALMI 3

**LOCALISATION** : Niger, Département de Tahoua, Arrondissement de Madaoua, Bassin versant de Galmi II (étude hydrologique ORSTOM), 13°57'N - 05°42'E, quart supérieur d'un versant de 1800 m, pentes de 2,5 à 3,5 %.

**DATE** : février 1980

**CLIMAT** : sahélo-soudanais, pluviométrie moyenne à Birni N'Koni 560 mm (1935-1975) et 480 mm à Madaoua (1936-1975).

**MATERIAU ORIGINAL** : dépôts sableux éoliens anciens plus ou moins contaminés par des sables colluviaux et recouvrant les marnes et calcaires de l'Eocène inférieur marin de l'Ader Douthi.

**CLASSIFICATION** : Sol isohumique (Class.), à complexe saturé et pédoclimat chaud en saison pluvieuse (S/Class.), brun sub-aride (Gr.), modal (S/Gr.), sur dépôts sableux éoliens et colluviaux (Faw.), sablo-argileux et à défaut de drainage interne (Sér.),

#### **DESCRIPTION DU PROFIL TYPE :**

- de 0 à 6 ou 10 cm -

cf. "Description des organisations superficielles" ainsi que la figure n°28

- de 6 ou 10 cm à 24 cm : horizon A 1 -

Sec, 5 YR 4,5/6 (rouge jaunâtre), quelques taches 7,5 YR 6/6 (brun vif) correspondant à des amas sableux plus clairs ; gravillons ferrugineux peu abondants en îlots isolés ; sablo-faiblement argileux ; structure massive juxtaposée à fragmentaire peu nette polyédrique sub-anguleuse moyenne en relation avec des fissurations ; fissures verticales tous les 40 cm ; porosité faible tubulaire fine ; dépôts sableux clairs sur la paroi des fissures ; limite vers -15 cm séparant deux cohésions, plus faible au dessus, plus forte en dessous (limite activité biologique) ; transition distincte et régulière de teinte et structure.

- de 24 à 51 cm : horizon (B) 1 -

Sec, 7,5 YR 5/7 (brun vif), quelques taches 7,5 YR 6/8 (jaune rougeâtre) ; gravillons ferrugineux très peu abondants ; sableux faiblement argileux ; structure massive ; pores peu nombreux très fins tubulaires ; cohérent ; peu fragile ; prolongation des fissures verticales précédentes ; pas de racines ; peu de traces d'activité biologique ; transition distincte et régulière de teinte.

- de 51 à 120 cm : horizon (B) 2 -

Sec, nombreuses taches avec les combinaisons de nuances suivantes : 10 YR 6/3 (brun pâle), 10 YR 6/7 (jaune brunâtre), 10 YR 5/6 (brun jaunâtre), 7,5 YR 5/4 (brun), en quantité équivalentes, toutes contrastées, à limites nettes et étendues ; gravillons ferrugineux peu abondants ; sablo-argileux ; structure massive ; très cohérent ; non fragile ; peu poreux très fin tubulaire ; pas de racines.

**Résumé** : Profil très peu différencié à part les taches à partir de -51 cm, il est difficile de voir s'il s'agit d'un défaut de drainage actuel ou ancien ; forte cohésion sauf sur les 15 cm supérieurs remaniés par la faune ; quasi-absence de racines sous 25 cm ce qui suggère une hydrodynamique très superficielle ; sol se distinguant donc nettement de ceux différenciés sur marnes et calcaires mais sans recouvrements sableux (GALMI 2)

#### **DESCRIPTION DES ORGANISATIONS SUPERFICIELLES :**

Un seul type d'organisation, le couvert graminéen occupe environ 50 % de la surface de cette zone ; ces organisations superficielles atteignent 5 à 10 cm d'épaisseur, on peut les subdiviser de la façon suivante :

- 1 - strate de chaumes graminéens morts mais encore érigés sur 15 à 20 cm, peu dense mais à répartition homogène (et non en touffes) ; quelques cailloux et blocs de cuirasse posés sur le sol.

- 2 - lit de 1 à 2,5 cm de débris végétaux (fétus), discontinu, accumulation au niveau des collats des tiges graminéennes, traces d'activité des termites (gainages terreuses autour des débris végétaux).

- 3 - rh sur environ 1,0 cm constitué de sables fins bouillants sauf quelques amas plus cohérents posés sur la limite du rh sous-jacent (détail "a"), contient quelques gravillons et amas terreux de termites ; discontinu et laisse alors apparaître le rh sous-jacent

- 4 - rh sur 0,1 à 0,2 cm, pellicule de texture fine, brune, consolidée, rarement interrompue sauf à l'aplomb des fissures verticales de l'horizon A 1, transition nette soulignée par un alignement de vésicules sphériques.

- 5 - wh sur 4 à 9 cm, sables et limons bruns bouillants et reliquats de pellicules de texture plus fine et consolidées, en stratifications entrecroisées particulièrement nettes et repérables par les ensembles plus cohérents ; racines fines dans la masse ; gravillons ferrugineux en lits reposant sur le sommet de l'horizon A 1, donc contact abrupt.

Résumé : la stratification entrecroisée et le contact abrupt avec l'horizon A 1 suggèrent une mise en place turbulente par les eaux de ruissellement (pente) du wh 5 ; celui-ci subit ensuite la battance des pluies (moins de ruissellement) ; la déflation éolienne amène le dépôt du wh 3.

#### DONNEES ANALYTIQUES

##### Granulométrie

Prélév.	Profond.	Hor.	E.G.	A.	L.F.	L.G.	S.F.	S.G.
	cm		%	%	%	%	%	%
GAL 131	0 à 1	O.P.S.	1,7	6,5	1,8	3,2	47,6	40,1
GAL 132	1 à 7	O.P.S.	0,4	7,7	1,9	2,5	50,8	35,0
GAL 133	15 à 20	A 1	0,2	17,0	2,2	3,0	41,4	32,3
GAL 161	30 à 40	(B) 1	3,2	15,1	2,8	1,5	45,2	35,4
GAL 162	60 à 70	(B) 2	5,4	14,4	2,5	1,3	44,5	37,4
GAL 163	110 à 120	(B) 2	5,5	15,3	3,4	1,5	37,2	42,5

##### Structure

Prélév.	D.A.	D.R.	P.T.	Agr.a.	Agr.e.	Agr.b.	I s	K
	g/cm <sup>3</sup>	g/cm <sup>3</sup>	%	%	%	%		cm/h
GAL 131				43,8	42,6	41,4	0,8	6,9
GAL 132	1,41			49,7	48,4	46,2	1,0	13,3
GAL 133	1,30			53,6	50,5	47,5	1,6	12,5
GAL 161	1,33			46,6	42,6	38,7	1,8	15,8
GAL 162	1,38			49,0	46,1	39,4	1,7	17,1
GAL 163				57,6	51,5	47,3	1,6	7,5

##### Relations sol-eau

Prélév.	Humidité à # potentiels matriciels				Humidité à # limites mécaniques			
	pF 4,2	pF 3,0	pF 2,8	pF 2,5	liquid.	plast.	retrait	adhés.
	%				%			
GAL 131	3,0	3,4	4,4	4,6	15,0			14,1
GAL 132	3,3	4,1	4,7	5,7	14,4			12,7
GAL 133	5,0	6,6	7,4	9,1	15,6			14,9
GAL 161	5,7	7,0	8,6	8,8				
GAL 162	5,6	6,8	7,6	8,6				
GAL 163	6,0	7,9	8,9	10,1				

##### Complexe absorbant

Prélév.	M.O.	C/N	Bases échangeables				S	T	S/T	pH eau
			Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>				
	%		mé/100g				mé/100g		%	
GAL 131	0,4	14,3	1,77	1,00	0,10	0,02	2,89	3,32	87,0	7,1
GAL 132	0,4	8,5	2,00	1,20	0,20	0,02	3,42	3,93	87,0	6,9
GAL 133	0,5	12,9	6,14	1,70	0,04	0,03	7,91	8,61	91,9	5,8
GAL 161	0,4	10,2	7,54	1,10	0,04	0,05	8,73	9,97	87,6	5,9
GAL 162			6,94	0,80	0,04	0,06	7,64	6,86	sat.	6,8
GAL 163			8,14	0,70	0,06	0,09	8,99	8,15	sat.	7,7

## PROFIL : GALMI 4

**LOCALISATION** : Niger, Département de Tahoua, Arrondissement de Madaoua, Bassin versant de Galmi II (étude hydrologique ORSTOM), 13°57' N - 05°42' E, terrasse alluviale de fond de vallée, pente de 1,9 à 2,7 %.

**DATE** : février 1980

**CLIMAT** : sahélo-soudanais, pluviométrie moyenne de 560 mm sur Birni N'Koni (1935 à 1975) et de 480 mm sur Madaoua (1936 à 1975).

**MATERIAU ORIGINEL** : alluvions et colluvions provenant des séries marneuses et calcaires de l'Eocène inférieur marin de l'Ader Doutchi.

**CLASSIFICATION** : Sol isohumique (Class.), à complexe saturé et pédoclimat chaud pendant la saison pluvieuse (S/Class.), brun sub-aride (Gr.), vertique (S/Gr.), sur alluvions et colluvions argilo-sableux de comblement de vallée (Fam.).

### DESCRIPTION DU PROFIL TYPE :

- de 0 à 7 ou 8 cm -

cf. "Description des organisations superficielles" ainsi que la figure n° 29

- de 7 ou 8 à 32 cm : horizon A 11 -

Sec, couleur hétérogène, 10 YR 4/4 (brun jaunâtre foncé), et 10 YR 5/5 (brun jaunâtre), sans taches ; argilo-limono-sableux ; structure fragmentaire nette polyédrique moyenne à grossière juxtaposée à biologique nette grumeleuse très fine et fine dans les vides interagrégats précédents ; forte porosité interagrégat et porosité moyenne tubulaire fine ; cohérent ; non fragile ; fissures verticales provenant des horizons sous-jacents ; quelques racines fines de la strate graminéenne ; transition distincte ondulée de couleur et de structure.

- de 32 à 49 cm : horizon A 12 -

Sec, 7,5 YR 4,5/4 (brun), quelques taches plus rouges, irrégulières, liées à une hétérogénéité des matériaux ; gravillons ferrugineux peu abondants, à cuticule noire vernissée (diamètre d'environ 0,2 cm), nodules carbonatés peu abondants (diamètre d'environ 0,3 cm) ; argilo-limono-sableux ; structure massive à tendance fragmentaire peu nette polyédrique moyenne ; très poreux tubulaire fin et moyen ; très cohérent ; non fragile ; fissures verticales ; quelques racines fines ; transition distincte et régulière.

- de 49 à 115 cm : horizon (B)

Sec, 10 YR 4/3 (brun), sans taches ; nodules ferrugineux arrondis à cuticule noire vernissée (diamètre d'environ 0,2 cm) peu abondants, nodules ferrugineux rouges irrégulièrement arrondis (diamètre d'environ 0,3 cm) très peu abondants, nodules et pseudo-mycélium carbonatés peu abondants (augmente sensiblement vers -70 cm) ; argilo-limono-sableux ; structure générale massive et amorces de structuration fragmentaire en lames obliques à partir des fissures distantes de 40 cm environ, certaines de ces lames présentent des "slicken side" ; très peu poreux tubulaire très fin ; très cohérent ; non fragile ; pas de racines.

**Résumé** : Profil de texture homogène ; différenciation surtout structurale ; caractère vertique accusé en profondeur ; mais cependant moins que ceux des vertisols topomorphes situés à quelque 300 m plus près de l'axe de la vallée ; système racinaire s'arrêtant à -45 cm ; présence de traces carbonatées jusqu'à -70 cm.



## DESCRIPTION DES ORGANISATIONS SUPERFICIELLES :

Ces sols sont généralement cultivés en sorgho, le profil étudié correspond à une jachère de plusieurs années (3 ans), environ 40 % de sa surface sont couverts par des chaumes de Graminées adventices broutés par le bétail, ces chaumes se répartissent en touffes distantes de 30 à 40 cm ; un seul type d'organisation :

- 1 - strate clairsemée de chaumes érigés sur quelques centimètres,
- 2 - lit de débris végétaux fins, de fragments de copeaux de dessiccation (piétinement du bétail), de granules sphériques organo-minéraux (détail "a"), et de lamelles de marnes fines,
- 3 - rh composite de 2,5 à 3 cm d'épaisseur avec copeaux de dessiccation rebroussés, en place, présentant sur leur face inférieure des alignements vésiculaires, entre ces copeaux on trouve des accumulations de grumeaux biologiques fins et très fins et une poudre organique (bouses fragmentées ?) adhérent souvent sur la face inférieure des copeaux, encore quelques fragments de marnes vertes et roses (0,1 à 0,3 cm) ; l'ensemble possède une teinte brun-jaunâtre, rares gravillons ferrugineux noirs vernissés ; meuble ; transition nette et régulière avec le rh 4,
- 4 - rh de 4,0 à 5,0 cm, structure fragmentaire nette lamellaire fine ; quelques gravillons ferrugineux ; quelques fragments de marne ; très peu d'amas organiques ; racines fines horizontales plaquées entre les lamelles ; transition progressive régulière structurale par délitage de lames à partir des unités structurales polyédriques de l'horizon A 11 sous-jacent,
- 5 - début de l'horizon A 11, sous-structuration lamellaire des polyèdres ; les racines fines pénétrant les agrégats à ce niveau,

Résumé : Aucune accumulation sableuse, forte action mécanique de piétinement fragmentant le rh 3 et favorisant l'incorporation de la matière organique fraîche (déjection), présence de lames de marne flottées, différence d'orientation racinaire entre le rh 4 et A 11, débit en lames des unités structurales de A 11, limite de liquidité atteinte sur 3 cm, pas de fissurations.

## DONNEES ANALYTIQUES

## Granulométrie

Prélév.	Profond.	Hor.	E.G.	A.	L.F.	L.G.	S.F.	S.G.
	cm		%	%	%	%	%	%
GAL 71	0 à 5	O.P.S.	0,2	28,4	21,0	19,1	28,0	3,6
GAL 72	10 à 20	A 11	0,2	32,7	13,6	22,7	27,4	3,4
GAL 82	35 à 45	A 12	0,4	29,2	12,9	19,9	30,9	7,2
GAL 83	90 à 100	(B)	0,2	35,8	25,5	17,1	15,9	5,6

## Structure

Prélév.	D.A.	D.R.	P.T.	Agr.a.	Agr.e.	Agr.b.	I s	K
	g/cm <sup>3</sup>	g/cm <sup>3</sup>	%	%	%	%		cm/h
GAL 71	1,2	2,5	53,1	27,7	17,3	11,6	2,3	6,7
GAL 72	1,5	2,5	41,5	45,2	14,6	6,1	1,3	7,4
GAL 82	1,5	2,6	41,1	21,0	10,3	8,1	4,3	3,0
GAL 83	1,4	2,5	42,7	41,7	20,5	7,0	2,9	2,6

## Relations sol-eau

Prélév.	Humidité à $\phi$ potentiels matriciels				Humidité à $\phi$ limites mécaniques			
	pF 4,2	pF 3,0	pF 2,8	pF 2,5	liquid.	plast.	retrait	adhés.
	%				%			
GAL 71	15,7	22,5	25,4	30,3	32,2	25,4	17,7	30,3
GAL 72	10,8	16,9	19,9	21,4	27,2	23,4	16,1	25,7
GAL 82	8,9	14,1	16,0	18,7				
GAL 83	13,4	22,1	23,5	25,3				

## Complexe absorbant

Prélèv.	M.O.	C/N	Bases échangeables				S	T	S/T	pH eau
	%		Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	mé/100g		%	
GAL 71	1,8	21,4	25,14	4,30	0,54	0,05	30,03	23,45	sat.	8,2
GAL 72	0,9	11,5	17,94	4,40	0,16	0,09	22,59	20,33	sat.	8,4
GAL 82	0,8	11,3	15,54	3,50	0,12	0,10	19,26	15,95	sat.	7,8
GAL 83			17,94	4,70	0,26	0,13	23,03	20,08	sat.	7,5

## Attaque triacide sur la fraction 0 à 2mm

Prélèv.	Rés. q.	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	MnO <sub>2</sub>	P. feu	Rapp. mol. : SiO <sub>2</sub> /Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
		%										
GAL 72	60,90	15,70	8,51	5,50	1,50	0,85	0,63	0,18	0,02	0,09	5,35	3,14
GAL 82	65,50	13,30	7,36	5,40	1,40	0,60	0,42	0,18	0,02	0,10	4,50	3,07
GAL 83	59,70	16,70	8,51	6,04	1,46	0,73	0,51	0,22	0,02	0,13	5,05	3,34

## PROFIL : OURSI 1

**LOCALISATION** : Burkina Faso, Bassin versant de la mare d'Oursi, 14°37' N - 00°29' W, altitude 310 m.

**DATE** : décembre 1979.

**CLIMAT** : sahélien, pluviométrie moyenne 450 mm.

**MATERIAU ORIGINEL** : dépôts éoliens anciens plaqués sur le versant Nord du massif de Kolé.

**CLASSIFICATION** (selon C.P.C.S., 1967) : Sol isohumique (Class.), à complexe saturé et pédoclimat chaud en saison pluvieuse (S/Class.), brun sub-aride (Gr.), brun rouge (S/Gr.), sur matériau sableux de l'erg ancien (Fam.), à drainage interne limité en profondeur (Sér.).

## DESCRIPTION DU PROFIL TYPE :

- de 0 à 5 cm -

cf. "Description des organisations superficielles" ainsi que la figure n° 40.

- de 5 à 10 cm ; horizon A1

Sec, 7,5 YR 5/5 (brun), sans taches, sans éléments grossiers, sableux fin, structure lamellaire sur 3 cm puis massive à éclats lamellaires, pores peu nombreux très fins tubulaires et pores très peu nombreux larges vésiculaires, étroites fissurations verticales tous les 50 cm, quelques racines fines explorant les faces des lamelles des 3 premiers centimètres, transition nette et régulière de couleur, structure et cohésion.

- de 10 à 28 cm ; horizon AB

Sec, 7,5 YR 4/4 (brun foncé), sans taches, sans éléments grossiers, sableux fin, structure massive à éclats lamellaires puis anguleux, pores peu nombreux larges tubulaires, cohérent, non fragile, fissurations verticales identiques celles de l'horizon A1, racines fines dans la masse de l'horizon, transition distincte régulière de couleur et de cohésion.

- de 28 à 77 cm ; horizon B 21

Sec, 5 YR 4/4 (brun rougeâtre), sans taches, très peu de graviers de gabbros altérés et très peu de gravillons sesquioxides, rares débris de poteries, sableux fin, structure massive à éclats émoussés, pores peu nombreux très fins tubulaires, une galerie de rongeur à -50 cm ( $\varnothing$  10 cm), cohérent, peu fragile, quelques racines fines dans la masse de l'horizon, fissurations verticales toujours présentes, transition diffuse et régulière surtout de couleur.

- de 77 à 115 cm ; horizon B 22

Sec, 6,25 YR 5/5 (brun vif), sans taches, très peu de graviers (gabbros et gravillons sesquioxides), débris de poteries, sableux fin très faiblement argileux, structure massive à éclats émoussés, poreux très fin tubulaire, cohérent, fissurations verticales toujours présentes, quelques racines fines liées aux porosités, transition distincte et régulière de couleur.

- de 115 à 160 cm ; horizon B 23 Ca

Sec, 7,5 YR 5/6 (brun vif), taches vers 7,5 YR 5/2 (brunes et jaune pâle) contrastées, à limites peu nettes, en traînées et circulaires, sans éléments grossiers, sableux fin très faiblement argileux, structure massive à éclats émoussés, poreux très fin tubulaire, cohérent, fissures toujours présentes, pseudo-mycélium carbonaté dans les porosités, peu fragile, encore quelques racines fines liées aux porosités, trace d'activité de termites (loges et galeries emplies de granules meubles,  $\varnothing$  5 à 10 mm), transition graduelle et légèrement ondulée par augmentation de la charge en éléments grossiers sesquioxides.

- de 160 à 190 cm ; horizon B 24 gr, Ca

Sec, 7,5 YR 5,5/8 (brun vif), quelques taches identiques à celles de l'horizon B 23 mais atténuation des taches jaune pâle, gravillons sesquioxides peu abondants irrégulièrement arrondis ( $\varnothing$  3 à 5 mm), brun rougeâtre en coupe, sans cuticule, très indurés, sableux fin, structure massive à éclats émoussés, poreux très fin tubulaire, peu poreux fin à moyen tubulaire, cohérent, peu fragile, fissures toujours présentes, pseudo-mycélium carbonaté dans les porosités, rares racines fines à proximité des fissures, traces d'activité des termites toujours présentes, transition graduelle et régulière par augmentation de la charge en gravillons et modification de la teinte.

- de 190 à 220 cm ; horizon B 25 gr

Sec, 8,75 YR 6/8 (jaune brunâtre), taches plus sombres, peu contrastées, à limites peu nettes et irrégulières ( $\varnothing$  10 mm), gravillons identiques à ceux de l'horizon B 24, quelques graviers de quartz, sableux fin, structure massive, poreux très fin tubulaire, cohérent, disparition des fissures, disparition des pseudo-mycélium carbonatés, peu fragile, disparition des racines, encore quelques traces d'activité de termites.

Résumé : Profil d'aspect homogène, légère accumulation d'argile entre 80 et 150 cm, teinte plus rouge entre 30 et 70 cm, discrètes précipitations carbonatées entre 120 et 200 cm, accumulation de gravillons peu importante entre 160 et 220 cm, enracinement fin et profond lié à une porosité bien développée, taches discrètes d'hydromorphie de 115 à 200 cm.

## DESCRIPTION DES ORGANISATIONS SUPERFICIELLES

Le site expérimental correspondant au profil-type d'OURS I présente environ 60 % de zones ensablées (O.P.S. soit "Organisations Pelliculaires Superficielles" de type "A") portant des résidus de chaumes graminéens encore érigés et 40 % de zones pelliculaires dénudées (O.P.S. de type "B").

O.P.S. de type A

Elles présentent en coupe la succession de microhorizons (zh) suivants :

- 1 - ensablement fin sur 0,3 à 0,4 cm, microdunes en surface avec quelques accumulations de graines arâées et débris végétaux divers, amas lenticulaires de sables fins plus cohérents dans les dépressions (cf. détail "a" sur la figure 40), à l'intérieur de ce mh généralement bouillant on trouve aussi des amas sableux légèrement plus cohérents (b) .

- 2 - pellicule cohérente peu fragile, de texture fine, présentant une face supérieure guilochée suggérant la juxtaposition de microcratères d'impacts de gouttes de pluie (dégagement et vue en plan), la face inférieure est occupée par des alignements discontinus de vésicules sphériques en limite supérieure de sables plus cohérents que ceux du rh 3 sous-jacent, la pellicule cohérente fait # 0,01 cm d'épaisseur,

- 3 - sur 3 à 4 cm d'épaisseur, juxtaposition d'amas sableux lenticulaires (L # 15 cm, ep. # 1 cm) plus cohérents que l'ensemble du matériau qui est également sableux,

- 4 - second rh pelliculaire cohérent de texture fine, ses limites sont cependant plus irrégulières que celles du rh 2, discontinu, les fissurations des horizons sous-jacents viennent "butter" à la base de ce rh 4,

- 5 - on passe progressivement vers - 10 cm à l'horizon A 1 par disparition des reliquats d'anciennes O.P.S. (détail "d"), par un changement d'orientation du système racinaire fin de la strate graminéenne qui d'horizontal devient oblique puis vertical, par l'apparition d'une porosité tubulaire,

#### O.P.S. de type B

- 1 - dès la surface, pellicule de texture fine, cohérente, sub-continue car interrompue par la déflation éolienne actuelle (dépressions de # 10 cm<sup>2</sup>) ou par un réseau de fissures polygonales (en plan) correspondant à celles qui traversent les horizons profonds, surface occupée par de rares cailloux et graviers de quartz corrodés et ferruginisés posés ou enchassés dans la pellicule, traces d'impacts de gouttes en surface mais moins nettes que celles du rh 2 de l'O.P.S. A (abrasion de la surface), limite inférieure nette marquée par un alignement de vésicules,

- 2 - rh sableux peu cohérent à débit horizontal, critère faisant la transition avec l'horizon A 1 sous-jacent, les fissurations traversant ces matériaux sont souvent emplies de sable bouillant provenant de la surface,

Résumé : Dans l'O.P.S. A on note une superposition de plusieurs systèmes pelliculaires, la différenciation d'amas sableux plus cohérents et une transition progressive avec les horizons de profondeur. Dans les O.P.S. de type B ne subsiste qu'une pellicule qui, fissurée, participe aux processus de dessiccation des horizons de profondeur.

#### DONNEES ANALYTIQUES

##### Granulométrie

Prélèv.	Profond.	Hor.	E.G.	A.	L.F.	L.G.	S.F.	S.G.
	cm		%	%	%	%	%	%
AT 1	5 à 9	A 1	0,4	4,0	1,5	2,9	57,5	34,0
AT 2	10 à 15	A B	0,8	6,4	1,8	2,0	57,2	32,5
AT 3	35 à 45	B 21	0,4	9,5	2,0	1,0	52,0	35,5
AT 4	80 à 90	B 22	0,5	9,8	1,5	1,2	55,9	31,7
AT 5	120 à 130	B 23 Ca	0,6	11,9	1,3	2,2	54,0	30,7
AT 6	170 à 185	B 24 gr. Ca	17,3	9,3	1,3	2,5	53,6	33,5

##### Structure

Prélèv.	D.A.	D.R.	P.T.	Agr.a.	Agr.e.	Agr.b.	I s	K
	g/cm <sup>3</sup>	g/cm <sup>3</sup>	%	%	%	%		cm/h
AT 1	1,48	2,20	32,9	41,4	40,4	43,6	0,6	7,9
AT 2	1,48	2,20	32,9	41,2	41,7	43,1	0,7	2,7
AT 3	1,49	2,21	32,7	40,6	41,5	37,5	1,3	2,7
AT 4	1,51	2,29	34,0	40,5	39,9	35,0	1,6	7,1
AT 5	1,51	2,22	32,0	37,5	38,4	37,5	2,1	7,0
AT 6				37,4	37,3	37,4	1,6	8,6

## Relations sol-eau

Prélèv.	Humidité à # potentiels matriciels				Humidité à # limites mécaniques			
	pF 4,2	pF 3,0	pF 2,8	pF 2,5	liquid.	plast.	retrait	adhés.
AT 1	2,2	2,7	2,9	3,9	15,7			14,3
AT 2	2,3	3,2	3,4	4,6	16,0			15,5

## Complexe absorbant

Prélèv.	M.O.	C/N	Ca <sup>++</sup>	Bases échangeables			Na <sup>+</sup>	S	T	S/T	pH eau
	%			Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>			mé/100g		%	
AT 1	0,4	7,1	1,40	0,86	0,19	0,03		2,48	2,51	98,8	8,1
AT 2	0,3	4,3	1,80	0,86	0,23	0,04		2,93	3,07	95,4	7,5
AT 3	0,2		2,54	1,30	0,10	0,02		3,96	4,32	91,7	7,9
AT 4	0,1		2,64	1,30	0,07	0,03		4,04	4,12	98,1	8,4
AT 5			3,69	1,26	0,07	0,04		5,06	4,89	sat.	8,1
AT 6			2,38	2,78	0,05	0,04		3,25	3,40	95,6	8,4

## Attaque triacide sur la fraction 0 à 2mm

Prélèv.	Rés.q.	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	MnO <sub>2</sub>	P, feu	Rapp. mol.
												SiO <sub>2</sub> /Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
AT 1	88,70	4,70	2,16	1,95	0,51	0,13	0,12	0,14	0,04	0,03	1,28	3,70
AT 6	84,90	6,10	3,37	2,35	0,48	0,12	0,16	0,08	0,02	0,01	1,55	3,08

## PROFIL : OURSI 2

LOCALISATION : Burkina Faso, Bassin versant de la mare d'Oursi, 14°37' N, 00°29' W, altitude 310 m.

DATE : décembre 1979

CLIMAT : sahélien, pluviométrie moyenne 450 mm.

MATERIAU ORIGINEL : altérites d'amphibolite

CLASSIFICATION (selon C.P.C.S. 1967) : Sol isohumique (Class.), à complexe saturé et pédoclimat chaud en saison pluvieuse (S/Class.), brun sub-aride (6r.), vertique (S/6r.), sur altérations d'amphibolite (Fam.), faiblement alcalisé (Sér.).

## DESCRIPTION DU PROFIL TYPE :

- de 0 à 10 cm -

cf. "Description des organisations superficielles" ainsi que la figure n° 41.

- de 10 à 18 ou 35 cm : horizon A 1 -

Ser, 7,5 YR 4/4 (brun foncé), sans taches, graviers peu abondants (gravillons ferrugineux et quartz), sablo-fin-argileux, structure fragmentaire très nette polyédrique moyenne à grossière,

surstructuration prismatique par réseau de fissures verticales tous les 3 à 5 cm, vides interagrégats importants (saison sèche), agrégats très peu poreux fin à moyen tubulaire, horizon très cohérent par engrènement extrême des agrégats, quelques racines fines entre les agrégats, non fragile, transition distincte et irrégulière par modification de structure et de couleur,

- de 18 ou 35 à 78 cm ; horizon (B) -

Sec, 8,75 YR 4/4 (brun jaunâtre foncé), quelques taches blanchâtres et noirâtres sans relation avec les autres caractéristiques, graviers peu abondants (mêmes caractéristiques que ceux de l'horizon A1), argileux, structure massive juxtaposée à fragmentaire polyédrique moyenne à grossière développée à proximité de fissures espacées de 15 à 20 cm, ensemble très cohérent, non fragile, agrégats et horizon non poreux, quelques racines fines dans les vides interagrégats, transition régulière et graduelle de couleur et par atténuation de la fissuration,

- de 78 à 130 cm ; horizon (B) C -

Sec, 10 YR 6/4 (brun jaunâtre clair), nombreuses taches 10 YR 6/8 (jaunebrunâtre) aussi cohérentes, autres taches 10 YR 5/4 (brun jaunâtre) circulaires ( $\varnothing \approx 5$  mm) souvent liées aux vides, graviers peu abondants regroupés en amas (gravillons ferrugineux à cuticule noire brillante de  $\varnothing \approx 3$  à 7 mm), rares cailloux d'amphibolite altérée et quelques nodules calci-magnésiques ( $\varnothing \approx 2$  à 3 mm) faisant effervescence (acide de batterie), argilo-sableux fin, structure massive à débit anguleux juxtaposée à polyédrique fine et moyenne à proximité des fissures, très cohérent, non fragile, pores peu nombreux très fins tubulaires,

Résumé : Profil à forte différenciation structurale liée à la profondeur atteinte par le front d'humectation : lamellaire en surface (cf. description des O.P.S.) au niveau des dépôts hétérogènes de décantation, puis polyédrique lorsque les contaminations externes deviennent plus faibles et ce, sur une profondeur où la limite de liquidité est atteinte annuellement, puis massive fissurée en profondeur où les humectations sont hétérogènes et occasionnelles. La texture est fine. On note des traces de carbonates. Le caractère vertique ne peut être signalé qu'à un faible niveau taxonomique.

#### DESCRIPTION DES ORGANISATIONS SUPERFICIELLES :

Ce site présente une juxtaposition de  $\approx 70$  % de zones dénudées à pellicule argilo-limoneuse superficielle (O.P.S. A) et  $\approx 30$  % de zones légèrement ensablées et enherbées (O.P.S. B); il est occupé par un épandage superficiel peu dense de graviers et cailloux rocheux (quartz et amphibolite)

O.P.S. de type A

Elles présentent la succession des rh suivants :

- 1 - pellicule argilo-limoneuse cohérente, sub-continue, interrompue au niveau de fissures peu profondes délimitant des cellules polygonales de 4 à 8 cm (en plan), léger rebroussement des pellicules au niveau des fissures, face supérieure parfois couverte de petits dépôts sableux (détail "a") résultant d'une déflation récente, face inférieure présentant un alignement quasi continu de vésicules sphériques (50 à 100 par cm<sup>2</sup>) qui forment la transition avec le rh suivant.

- 2 - rh d'argiles limoneuses massives, très cohérentes, non fragiles, non poreuses, sur une épaisseur de 0,4 à 0,5 cm,

- 3 - rh d'argiles limoneuses structurées en lames fines et grumeaux moyens mal délimités (amorce de fragmentation), stratification soulignée par la concordance des empièlements des lames, limite structurale nette, régulière.

- 4 - rh d'argiles limoneuses nettement structurées en lames grossières, cohérentes, non fragiles, quelques pores tubulaires moyens et fins, quelques racines fines plaquées sur les agrégats donc orientées horizontalement.

- 5 - rh d'argiles limoneuses très nettement structurées en polyèdres grossiers et très grossiers à face supérieure plane, le débit de cette face supérieure plane fournit les lames du rh sus-jacent, la partie inférieure est moins nettement structurée, racines fines dans la masse des agrégats, quelques pores tubulaires grossiers présentant des argilanes concentriques épais (détail "b") surtout vers

la partie supérieure de ce mh, transition progressive vers l'horizon A 1 par atténuation des orientations structurales horizontales.

Résumé : On note le passage d'une organisation structurale lamellaire horizontale à une organisation isodiamétrique vers le bas où la texture est homogène ce qui n'est pas le cas en sommet où s'intercalent des lits d'éléments plus grossiers amorçant le délitage en lames ; la limite de structuration ainsi que la disposition des racines (dans ou entre les agrégats) indiquent que les mh 1, 2, 3, et en partie 4, atteignent la limite de liquidité, les porosités tubulaires à argilanes du mh 5 prouvent une humectation encore homogène mais ne dépassant pas le stade de plasticité.

#### O.P.S. de type B

Ce deuxième type d'organisation présente des copeaux de dessiccation nets favorisant le piégeage des graines et débris végétaux au niveau des fissures, donc permettant une légère accumulation de sable éolien, on y trouve les mh suivants :

- 1 - lit de débris végétaux sub-continu et s'épaississant au niveau des collets des touffes grainéennes mortes et s'introduisant dans les fissures avec du sable fin bouillant

- 2 - mh d'argiles limoneuses rebroussées en copeaux de dessiccation (maille # 7 cm) de quelque 0,1cm d'épaisseur, face supérieure lisse sans trace d'impact de gouttes (décantation), face inférieure présentant des alignements de vésicules rondes, ce mh se décolle du mh sous-jacent au niveau des fissures délimitant les mailles.

- 3 - mh d'interstratifications argilo-limoneuses et sableuses fines, alignement de vésicules sous les lits argilo-limoneux, trace d'activité de la faune du sol (termites ?) creusant des galeries concordant avec la stratification (détail "b"), prolongation des fissures verticales de la surface, transition structurale et texturale nette avec le mh sous-jacent.

- 4 - mh d'argiles limoneuses massives sur 1 à 2 cm, débit lamellaire grossier, cohérent, prolongation des fissures précédentes, racines fines dans la masse de cet horizon.

Résumé : le piégeage du sable accentue l'hétérogénéité texturale des mh superficiels, donc une structuration lamellaire résultant des interstratifications; l'enracinement dans la masse des agrégats apparaît plus haut que dans l'O.P.S. A ; cette seconde organisation reste donc humide plus longtemps, ceci se confirme par l'aspect lissé du mh 1 suggérant plus une pellicule de décantation (cuvette) qu'une pellicule due uniquement à la battance des pluies.

#### DONNEES ANALYTIQUES

##### Granulométrie

Prélév.	Profond.	Hor.	E.G.	A.	L.F.	L.G.	S.F.	S.G.
	cm		%	%	%	%	%	%
BQ 1	0 à 3	O.P.S. A	7,2	24,3	20,7	7,2	32,8	15,1
BQ 2	3 à 7	O.P.S. A	5,7	31,5	13,8	7,5	29,8	17,5
BQ 3	15 à 25	A 1	4,7	38,7	8,9	7,9	27,7	16,6
BQ 4	50 à 60	(B)	4,7	37,4	9,6	8,7	26,2	18,2
BQ 5	90 à 100	(B) C	1,3	33,4	8,3	9,1	32,0	17,2
BQ 6	120 à 130	(B) C	19,2	20,7	11,0	14,6	29,5	24,2

##### Structure

Prélév.	D.A.	D.R.	P.T.	Agr.a.	Agr.e.	Agr.b.	I s	K
	g/cm <sup>3</sup>	g/cm <sup>3</sup>	%	%	%	%		cm/h
BQ 1	1,57			39,3	22,1	21,4	4,1	3,9
BQ 2	1,57			43,3	26,5	22,6	3,0	4,2
BQ 3	1,65			44,4	27,8	18,8	1,4	6,4
BQ 4	1,63			39,9	25,7	19,6	3,6	2,7
BQ 5	1,70			38,2	23,1	20,0	3,4	2,5
BQ 6	1,79			48,2	40,6	34,0	1,8	2,1

## Relations sol-eau

Prélèv.	Humidité à # potentiels matriciels				Humidité à # limites mécaniques			
	pF 4,2	pF 3,0	pF 2,8	pF 2,5	liquid.	plast.	retrait	adhés.
	%				%			
BQ 1	9,8	15,8	16,2	19,1	20,0	18,1	12,9	19,5
BQ 2	9,9	14,3	15,8	17,3	24,7	21,3	12,3	23,6
BQ 3	11,9	15,7	17,1	19,9	30,1	25,0	13,5	28,0
BQ 4	13,9	19,1	20,8	23,7	29,0	24,8	12,8	28,0
BQ 5	11,5	17,9	19,1	22,5				
BQ 6	9,3	14,0	16,0	19,5				

## Complexe absorbant

Prélèv.	M.O.	C/N	Bases échangeables				S	T	S/T	pH eau
			Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>				
	%		mé/100g				mé/100g		%	
BQ 1	0,8	10,6	8,04	7,60	0,71	0,14	16,49	14,59	sat.	8,6
BQ 2	1,0	7,6	10,74	6,50	0,42	1,36	19,02	17,41	sat.	8,6
BQ 3	0,6	8,9	13,54	7,20	0,20	0,82	21,76	18,90	sat.	7,5
BQ 4	0,5	6,8	14,54	5,40	0,22	1,28	21,44	20,33	sat.	8,7
BQ 5	0,3	6,0	13,94	4,20	0,22	1,07	19,43	18,83	sat.	8,7
BQ 6			10,34	3,20	0,16	0,75	14,45	13,29	sat.	8,6

## Attaque triacide sur la fraction 0 à 2mm

Prélèv.	Rés.q.	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	MnO <sub>2</sub>	P. feu	Rapp. mol.
		%										
BQ 1	62,50	15,50	8,90	4,90	0,74	0,40	0,49	0,40	0,05	0,09	5,10	2,96
BQ 3	56,80	18,40	10,38	5,85	0,73	0,52	0,66	0,32	0,07	0,11	5,45	3,01
BQ 6	66,90	13,80	7,60	4,84	0,59	0,46	0,78	0,60	0,10	0,12	3,40	3,09

## PROFIL : OURSI 3

LOCALISATION : Burkina Faso, Bassin versant de la mare d'Oursi, 14° 37' N - 00° 29' W, altitude 310 m.

DATE : décembre 1979

CLIMAT : sahélien, pluviométrie moyenne 450 mm.

MATERIAU ORIGINEL : altérites de granite migmatitique à gros grain (type "Gountouré").

CLASSIFICATION (selon C.P.C.S. 1967) : Sol à sesquioxydes de fer (Class.), ferrugineux tropical (S/Class.), lessivé (Gr.), à concrétion et hydromorphe (S/Gr.), sur granite migmatitique à gros grains (Fam.), à nappe temporaire (Sér.).

## DESCRIPTION DU PROFIL TYPE :

- de 0 à 2 ou de 0 à 12 cm -

cf. "Description des organisations superficielles" ainsi que la figure n° 42,



- de 2 ou 12 à 12 ou 22 cm ; horizon A 1 -

Sec, 7,5 YR 5/4 (brun), sans taches ; graviers peu abondants de quartz anguleux, sableux grossier ; structure fragmentaire peu nette polyédrique sub-anguleuse grossière et moyenne ; fissuration verticale à enduits organo-minéraux plus sombres ; très poreux très fin tubulaire ; très cohérent ; non fragile ; racines fines surtout sur les faces d'agrégats ; transition nette et irrégulière de teinte et de structure.

- de 12 ou 22 à 25 ou 35 cm ; horizon A 21 -

Sec, 10 YR 5,5/4 (brun), sans taches ; graviers peu abondants de quartz ferruginisés et légèrement émousés ( $\phi$  # 2 à 3 mm) ; sableux grossier ; structure massive à éclats émousés ; pores très nombreux très fin tubulaires ; cohérent ; peu fragile ; quelques racines fines dans la masse de l'horizon ; transition distincte et ondulée.

- de 25 ou 35 à 42 ou 52 cm ; horizon A 22 u

Sec, 7,5 YR 5/6 (brun vif), sans taches ; graviers de quartz ferruginisés et émousés, quelques nodules ferrugineux ; sablo-argileux ; structure massive à éclats émousés ; très poreux très fin à large tubulaire ; cohérent ; non fragile ; argilanes dans les plus gros tubes ; quelques racines de la strate arbustive ; transition distincte et largement ondulée par accumulation d'éléments grossiers.

- de 42 ou 52 à 67 ou 77 cm ; horizon A 23 gr, g -

Sec, 10 YR 5/4 (brun jaunâtre), nombreuses taches 2,5 YR 5/8 (rouges) petites, irrégulières, contrastées, à limites nettes, plus cohérentes ; très nombreux graviers et cailloux dont 75% de nodules sesquioxides noirs et brunâtres, arrondis, mamelonnés ( $\phi$  # 1 à 2,5 cm), induration moyenne, cimentant des quartz, et # 25 % de graviers et cailloux de quartz ; sablo-grossier-argileux ; structure non discernable ; cohérent ; très forte porosité intergranulaire, mais aussi nombreux tubes fins et moyens ; racines fines dans la masse de l'horizon ; argilanes autour des éléments grossiers et dans les gros tubes ; transition graduelle régulière de couleur et de nature d'éléments grossiers.

- de 67 ou 77 à 87 cm ; horizon A 24 u, gr -

Sec, 5 YR 5/4 (brun rougeâtre), taches jaune pâle ; très nombreux graviers de quartz et nodules sesquioxides noirs ( $\phi$  # 0,8 cm), certains très friables ; sablo-grossier-argileux ; structure non discernable ; autres caractéristiques rappelant celles de l'horizon A 23 gr, g ; transition graduelle, largement ondulée de texture et de couleur.

- de 87 à 107 cm ; horizon B 2 u, fe -

Sec, 5 YR 5,5/6 (rouge jaunâtre), sans taches ; accumulation de graviers de quartz anguleux, bien classés ( $\phi$  # 0,4 cm) ; sablo-argileux à argilo-sableux ; structure massive ; très forte porosité intergranulaire, mais également nombreux tubes et vacuoles larges ; argilanes épais dans les tubes et autour des éléments grossiers ; meuble à bouillant ; transition nette, ondulée.

- de 107 à profondeur fosse, soit 140 cm ; horizon C g -

Altérites du granite à gros grain en milieu hydromorphe ; très nombreuses taches grises, blanches, rouilles en traînées et à limites nettes, matrice argileuse en lames gris verdâtre ; graviers de quartz, feldspath, ferromagnésiens ; blocs de roche altérée en place.

Résumé : Profil hétérogène et très différencié en un ensemble d'horizons à comportement d'horizons lessivés et deux horizons d'accumulation d'argile (B 2 et C) ; accumulation de fer non pectisé dans les horizons B 2 et à la base du A 24 ; mais aussi argilanes disséminés dans l'ensemble des A 2, il s'agit d'argile en transit, ces horizons doivent être considérés comme des horizons lessivés ; certainement une nappe temporaire engorgeant le profil jusqu'à # -40 cm, le problème de l'alimentation de cette nappe par percolation se pose étant donné la faible conductibilité de la surface, apport et circulation sont probablement latéraux.

## DESCRIPTION DES ORGANISATIONS SUPERFICIELLES

Ce site présente # 65 % de zones ensablées, fortement enherbées (O.P.S. de type "A") et # 35 % de zones à pellicules superficielles dénudées (O.P.S. de type "B")

## O.P.S. de type A

Elles se présentent sous la forme d'ensablements épais résultant de la conjugaison d'apports hydriques et éoliens ; on distingue les rh suivants :

- une strate de chaumes graminéens encore érigés, clairsemés, sur 20 à 30 cm de hauteur et # 1 cm de débris végétaux continus posés sur le sol,
- 1 - rh constitué par un lit de 0,5 cm de sables grossiers et graviers de quartz déliés,
- 2 - rh sur 0,5 cm de sables grossiers et graviers de quartz consolidés en limite supérieure par un plasma de texture plus fine (détail "a"), alignement de vésicules sous ce plasma fin ; ensemble donc assez cohérent mais fragile ; couleur rose pâle ; transition nette de consistance,
- 3 - rh sur 2,5 cm de sables grossiers et fins bouillant sauf quelques amas (détail "b") ; couleur brun clair,
- 4 - rh vers - 3,5 cm ; pellicule de texture fine, horizontale, sub-continue avec des alignements de vésicules sphériques sur sa face inférieure,
- 5 - rh de - 3,5 à - 12 cm, alternance de lits sableux cohérents et bouillants, horizontaux, racines fines orientées horizontalement et soulignant les alternances des lits
- 6 - rh sur 0,2 à 0,3 cm, pellicule sub-continue de texture fine émergeant au pied des buttes constituée par cette O.P.S. A,
- 7 - rh sur # 1,0 cm, sables fins légèrement argileux avec alignements vésiculaires en limite supérieure, texture plus grossière vers sa base, transition régulière et nette avec l'horizon A 1.

## - O.P.S. de type B -

On retrouve, à l'affleurement, le rh 6 des O.P.S. de type A précédentes, reposant sur le rh 7 précédent, cependant, ici, les sables emplissent les amorces de fissures de l'horizon A 1 sous-jacent ; par endroit peuvent subsister des plages de recouvrements sableux présentant les 3 rh suivants :

- 1 - lit monoparticulaire de graviers de quartz roux, corrodés, bien classés (# 0,4 cm),
- 2 - rh sur 0,3 cm de sables fins et grossiers bouillants,
- 3 - rh sur 0,2 à 0,3 cm des mêmes sables mais cohérents et résistant à la déflation, immédiatement superposé à la pellicule de texture fine.

Résumé : Sur le premier type d'organisation (O.P.S. A) se superposent des dépôts sableux de cohésions différentes ; leur granulométrie suggère une prédominance de dépôts hydriques ; à l'intérieur de ceux-ci, les intercalations pelliculaires fines soulignent des phases d'émersion avec action de la battance des pluies ; en surface les dépôts graveleux d'origine hydrique forment des zones plus rugueuses piégeant les graines ; ces dépôts peuvent être déblayés par les courants de ruissellement d'où la formation de microbuttes de quelque 10 à 15 cm de hauteur. L'O.P.S. B représenterait un stade poussé de l'abrasion amenant à l'affleurement un rh pelliculaire qui peut cependant être repris par la battance des ultimes averses de la saison des pluies.

## DONNEES ANALYTIQUES

## Granulométrie

Prélèv.	Profond.	Hor.	E.G.	A.	L.F.	L.G.	S.F.	S.G.
	cm		%	%	%	%	%	%
C 1	5 à 10	O.P.S. B	5,3	4,8	4,0	5,2	42,2	42,4
C 2	25 à 30	A 21	14,2	14,3	3,5	5,1	37,3	39,2
C 3	35 à 45	A 22 u	26,2	17,0	4,3	5,1	32,3	40,9
C 4	60 à 70	A 23 gr, g	60,0	9,5	3,3	1,1	53,4	33,6
C 5	100 à 110	B 2 u, Fe	65,1	22,5	5,3	4,8	9,1	56,8
C 6	130	C g	33,2	44,8	5,8	3,6	10,7	32,4

## Structure

Prélév.	D.A.	D.R.	P.T.	Agr.a.	Agr.e.	Agr.b.	I s	K
	g/cm <sup>3</sup>	g/cm <sup>3</sup>	%	%	%	%		cm/h
C 1	1,54	2,04	24,5	56,6	55,8	55,3	0,9	4,1
C 2	1,54	2,27	32,3	58,4	54,7	56,5	2,0	1,5
C 3	1,69			50,6	43,6	42,8	2,9	1,8
C 4				38,9	38,5	35,9	1,7	14,5
C 5				58,2	51,5	51,5	3,1	1,5
C 6				57,2	42,5	38,2	3,3	2,6

## Relations sol-eau

Prélév.	Humidité à # potentiels matriciels				Humidité à # limites mécaniques			
	pF 4,2	pF 3,0	pF 2,8	pF 2,5	liquid.	plast.	retrait	adhés.
	%				%			
C 1	2,6	3,3	3,8	5,3	18,3			17,3
C 2	3,6	5,7	6,5	9,0	16,0		12,4	14,7
C 3	5,0	7,3	8,2	10,5				
C 4	3,2	3,7	4,6	5,4				
C 5	8,7	12,3	13,1	14,2				
C 6	15,4	18,8	20,8	21,7				

## Complexe absorbant

Prélév.	M.O.	C/N	Bases échangeables			Na <sup>+</sup>	S	T	S/T	pH eau
	%		Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>		mé/100g	mé/100g	%	
C 1	0,5	9,8	1,64	0,80	0,17	0,02	2,63	2,66	98,9	8,0
C 2	0,4	8,9	2,40	2,00	0,19	0,03	4,62	4,73	97,7	7,6
C 3	0,2		2,59	2,00	0,19	0,03	4,81	5,73	83,9	7,3
C 4			3,34	1,30	0,13	0,03	4,80	4,47	sat.	7,5
C 5			3,49	1,70	0,19	0,03	5,31	6,16	86,2	7,2
C 6			9,94	5,00	0,19	0,29	15,42	15,64	98,6	7,2

## Attaque triacide sur la fraction 0 à 2mm

Prélév.	Rés.q.	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	MnO <sub>2</sub>	P. feu	Rapp. mol.
												SiO <sub>2</sub> /Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
												%
C 2	82,00	7,80	4,06	2,00	0,48	0,17	0,27	0,23	0,03	0,03	2,40	3,27
C 5	70,40	11,90	7,63	4,14	0,48	0,16	0,27	0,27	0,03	0,06	3,80	2,65

## PROFIL : POUNI 1

LOCALISATION : Burkina Faso, Région de Kongoussi, Bassin versant du lac de Bam (étude hydrologique ORSTOM), 13°20'N - 01°30'W, amont d'un versant de # 1000 m, portion se raccordant à un plateau cuirassé lui-même dominé par une colline à affleurements rocheux, pente de 7,5 %.

DATE : avril 1975

**CLIMAT** : sub-sahélien, pluviométrie moyenne de 690 mm à St Paul.

**MATERIAU ORIGINEL** : colluvion gravillonnaire sur anciennes altérations ferrallitiques provenant d'un plateau cuirassé amont (Zone pétrographique des Schistes birrimiens).

**CLASSIFICATION** : Intergrade entre les sols "peu évolué d'érosion" et les sols "à sesquioxydes de fer" (Class.), ferrugineux tropical (S/Class.), appauvri (Gr.), modal (S/Gr.), sur nappe gravillonnaire et anciennes altérations ferrallitiques de schistes birrimiens (Fam.), à forte charge gravillonnaire dès la surface (Sér.),

**DESCRIPTION DU PROFIL TYPE :**

- de 0 à 2 ou 3 cm -

cf. "Description des organisations superficielles"

- de 2 ou 3 à 45 cm : horizons A gr et B 1 gr

Sec, 5 YR 5/4 (brun rougeâtre), sans taches ; abondants gravillons ferrugineux, mal classés ( $\phi$  de 1,0 à 2,5 mm), rares cailloux de la cuirasse sommitale ; rares cailloux de schistes ; matrice argilo-sableuse jusqu'à 20 cm, plus argileuse au-delà (horizon B 1 gr) ; structure non discernable ; ensemble poreux et cohérent ; transition graduelle et régulière par diminution de la charge gravillonnaire et de teinte.

- de 45 à 90 cm : horizon (B) gr -

Sec, 2,5 YR 4/8 (rouge), sans taches ; gravillons ferrugineux mieux classés que précédemment et  $\phi$  plus faible (0,7 à 1,0 cm), rares fragments de schistes altérés et ferruginisés ; matrice argileuse ; structure fragmentaire nette polyédrique anguleuse très fine et fine ; ensemble poreux ; cohérent ; peu fragile ; transition distincte, ondulée par apparition d'une phase altéritique.

- de 90 à 180 cm : horizon (B) C -

Sec, altérites et phase pédoplasquée tachetées en rouge, grenat, violet ; phase pédoplasquée argileuse ; structure fragmentaire peu nette polyédrique moyenne ; cohérent ; non fragile ; transition distincte et régulière par apparition de la texture de la roche.

- de 180 à 210 cm : horizon C -

Sec, altérites versicolores en place, texture pétrographique conservée (schistes) ; rares inclusion de phases pédoplasquées identiques à celles de l'horizon (B) C.

**Résumé** : Profil représentatif des épandages gravillonnaires sur le segment de raccord des versants du domaine ferrugineux ; altérations ferrallitiques à faible profondeur ; texture argileuse caractéristique des sols différenciés sur schistes birrimiens ; structuration nette liée à la présence d'argiles 2/1 accompagnant la kaolinite.

**DESCRIPTION DES ORGANISATIONS SUPERFICIELLES :**

Un seul type : épandage gravillonnaire sur 1 à 3 cm ; éléments posés sur le sol ; quelques blocs et cailloux de cuirasse ; aucune strate herbacée ; un buisson d'épineux tous les 2 à 3 mètres ; pas de microrelief, mais quelques rigoles d'érosion tous les 5 à 7 m, incisant le sol sur 5 à 20 cm, larges de 20 à 30 cm (effet de la forte pente).

**DONNEES ANALYTIQUES**

Granulométrie

Prélév.	Profond.	Hor.	E.G.	A.	L.F.	L.G.	S.F.	S.G.
	cm		%	%	%	%	%	%
PNI 111	0 à 10	A 1 gr	47,7	26,3	12,5	10,9	17,3	31,6
PNI 112	60 à 70	(B) gr	81,7	60,9	7,5	3,4	5,1	22,5
PNI 113	170 à 180	C	0,1	49,2	25,0	6,7	8,9	8,9

## Structure

Prélèv.	D.A.	D.R.	P.T.	Agr.a.	Agr.e.	Agr.b.	I s	K
	g/cm <sup>3</sup>	g/cm <sup>3</sup>	%	%	%	%		cm/h
PNI 111				37,0	30,1	27,0		0,54

## Relations sol-eau

Prélèv.	Humidité à # potentiels matriciels				Humidité à # limites mécaniques			
	pF 4,2	pF 3,0	pF 2,8	pF 2,5	liquid.	plast.	retrait	adhés.
			%				%	
PNI 111	14,4	23,4		22,4				

## Complexe absorbant

Prélèv.	M.O.	C/N	Bases échangeables				S	T	S/T	pH eau
	%		Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>				
				mé/100g			mé/100g		%	
PNI 111	1,3	13,5	5,60	3,25	1,04	0,02	9,92	8,92	sat.	6,6
PNI 112			3,10	2,04	0,23	0,01	5,38	6,35	84,7	6,5

## Attaque triacide sur la fraction 0 à 2mm

Prélèv.	Rés.q.	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	MnO <sub>2</sub>	P. feu	Rapp. mol.
						%						SiO <sub>2</sub> /Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
PNI 111	21,50	22,10	19,70	23,40	1,52					0,17	10,20	1,91
PNI 112	6,10	28,70	26,00	23,90	1,88					0,17	12,10	1,88

## PROFIL : POUNI 2

**LOCALISATION** : Burkina Faso, Région de Kongoussi, Bassin versant du lac de Baa (étude hydrologique ORSTOM), 13°20' N - 01°30' W, amont d'un versant rectiligne de 1000 m de longueur, à 260 m de la corniche cuirassée, pente de 2,5 %.

**DATE** : avril 1975

**MATERIAU ORIGINAL** : colluvions gravillonnaires et altérations ferrallitiques anciennes sur Schistes birrimiens.

**CLASSIFICATION** : Sol à sesquioxydes de fer (Class.), ferrugineux tropical (S/Class.), appauvri (Gr.), modal (S/Gr.), sur nappe gravillonnaire et anciennes altérations ferrallitiques de schistes birrimiens (Fan.), à forte charge gravillonnaire dès la surface (Sér.).

## DESCRIPTION DU PROFIL TYPE :

- de 0 à 2 ou 3 cm -

cf. "Description des organisations superficielles"

- de 2 ou 3 à 15 ou 20 cm ; horizon A 1 gr -

Sec, 5 YR 4/3 (brun rougeâtre), sans taches ; très nombreux gravillons ferrugineux mal classés (Ø de 5 à 15 mm), nombreuses lithoreliques schisteuses très ferruginisées ; matrice meuble sablo-argileuse ; structure non discernable ; ensemble très poreux intersticiel ; nombreuses racines fines dans la masse ; transition de teinte et texture distincte et ondulée.

- de 15 ou 20 à 40 cm ; horizon A B gr -

Sec, 5 YR 5/6 (rouge jaunâtre), sans taches ; très nombreux gravillons ferrugineux mal classés dont 1/3 de lithoreliques schisteuses ferruginisées ; matrice argilo-sableuse ; structure non discernable ; horizon très poreux ; quelques argilanes sur les gravillons vers la base de cet horizon ; racines fines ; transition graduelle et régulière.

- de 40 à 90 cm ; horizon B 21 gr (C) -

Sec, 5 YR 6/6 (jaune rougeâtre), sans taches ; nombreuses lithoreliques ferruginisées, gravillons ferrugineux et quelques fragments lamellaires de schistes altérés et non ferruginisés ; matrice argileuse ; horizon poreux, quelques tubes larges ; argilanes épais sur les tubes ; transition graduelle et régulière.

- de 90 à 140 cm ; horizon B 22 C (cr) -

Sec, altérites de schistes à phase meuble gravillonnaire, début d'induration des altérites ; phase meuble argileuse rouge jaunâtre.

- de 140 à 200 cm ; horizon B 23 v C -

Sec, altérites à phase d'argiles tachetées rouges et brun très pâle ; phase meuble non gravillonnaire argileuse ; horizon nettement moins poreux que plus haut.

Résumé : Appauvrissement superficiel, discrète accumulation argileuse entre 40 et 90 cm ; forte concentration gravillonnaire sur 150 cm, accentuée en surface par la mise en culture (accumulation relative d'éléments grossiers) ; horizons altéritiques dès 90 cm avec discrète induration entre 100 et 150 cm de cette phase altéritique ; hydromorphie ancienne au delà de 140 cm dans la phase meuble ; sol très poreux jusqu'à 140 cm.

#### DESCRIPTION DE LA SURFACE DU SOL :

2 à 3 cm de gravillons ferrugineux libres épandus sur la surface du sol ; aucune strate herbacée ; aucune strate arbustive ; 30 % de la surface du sol couverte par les chaumes de sorgho ; microrelief ; ondulations résultant des reliquats du billonnage de l'année précédente (période de 70 à 100 cm, amplitude de 5 à 10 cm).

#### DONNEES ANALYTIQUES

##### Granulométrie

Prélèv.	Profond. cm	Hor.	E.G. %	A. %	L.F. %	L.G. %	S.F. %	S.G. %
PNI 121	0 à 10	A 1 gr	70,0	24,5	12,2	15,8	21,5	23,5
PNI 122	30 à 40	A B gr	69,6	49,2	9,8	6,9	8,4	23,9
PNI 123	60 à 70	B 21 gr (C)	72,4	51,1	9,0	5,6	8,7	23,9
PNI 124	110 à 120	B 22 C (cr)	68,9	50,0	12,2	6,0	9,4	20,8
PNI 125	180 à 190	B 23 v C	48,6	53,5	11,4	6,2	9,9	17,9

##### Structure

Prélèv.	D.A. g/cm³	D.R. g/cm³	P.T. %	Agr.a. %	Agr.e. %	Agr.b. %	I s	K cm/h
PNI 121	2,1	2,8	24,4	43,5	29,2	26,1	2,70	0,43
PNI 122	2,0	2,8	28,3	78,3	51,7	18,7	2,00	2,32
PNI 123	2,0	2,8	30,5					
PNI 124	2,0	2,8	28,5					
PNI 125	2,0	2,6	24,5					

## Relations sol-eau

Prélèv.	Humidité à # potentiels matriciels				Humidité à # limites mécaniques			
	pF 4,2	pF 3,0	pF 2,8	pF 2,5	liquid.	plast.	retrait	adhés.
			%				%	
PNI 121	12,2	22,2		21,4				
PNI 122	18,0	21,4		21,9				
PNI 123	19,5	24,7		25,0				

## Complexe absorbant

Prélèv.	M.O.	C/N	Bases échangeables		Na <sup>+</sup>	S	T	S/T	pH eau
	%		Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>					
				mé/100g		mé/100g		%	
PNI 121	2,48	12,2	4,00	2,90	0,45	7,34	8,49	86,7	6,5
PNI 122	0,48	9,2	3,65	3,70	0,21	7,57	8,22	92,1	6,6
PNI 123	0,33	9,7	4,30	4,00	0,17	8,48	8,60	98,6	6,4

## PROFIL : POUNI 3

**LOCALISATION :** Burkina Faso, Région de Kongoussi, Bassin versant du lac de Bam (étude hydrologique ORSTOM), 13°20' N - 01°30' W, 1/3 inférieur d'un versant de # 1000 m, localement versant rectiligne, à 715 m de la corniche cuirassée de l'amont, pente 0,9 %

**DATE :** avril 1975

**MATERIAU ORIGINEL :** schistes pélitiques birrimiens et apports alluviaux du lac de Bam

**CLASSIFICATION** (selon C.P.C.S. 1967) : Sol à sesquioxides de fer (Class.), ferrugineux tropical (S/Class.), peu lessivé (Gr.), modal (S/Gr.), sur schistes pélitiques du Birrimien et contaminations alluviales lacustres (Fan.), à drainage interne limité en profondeur (Sér.).

## DESCRIPTION DU PROFIL TYPE :

- de 0 à 1,0 cm -

Cf. "Description des organisations superficielles"

- de 1,0 à 30 cm : horizons A 1 et A 8 -

Sec, 5 YR 5/4 (brun rougeâtre), sans taches ; rares gravillons ferrugineux ; sablo-argileux à argilo-sableux ; structure fragmentaire peu nette polyédrique émoussée grossière et très grossière sur 15 cm passant à fragmentaire polyédrique moyenne au-delà ; fissures verticales tous les 15 à 20 cm jusqu'à # 12 cm de profondeur ; très poreux fin tubulaire ; cohérent ; transition graduelle et régulière de teinte et texture.

- de 30 à 56 cm : horizon B 1 -

Sec, 3,75 YR 4/5 (rouge), sans taches, rares gravillons ferrugineux ; argilo-sableux ; structure fragmentaire peu nette polyédrique sub-anguleuse moyenne ; plus de fissures ; poreux fin tubulaire ; transition distincte et régulière de couleur et structure.

- de 56 à 90 cm : horizon B 21 -

Sec, 5 YR 4/6 (rouge jaunâtre), sans taches ; très rares gravillons ferrugineux ; argilo-sableux ; structure fragmentaire peu nette polyédrique sub-anguleuse fine ; cohérent ; peu poreux fin tubulaire ; transition distincte et régulière de couleur,

- de 90 à 125 cm ; horizon B 22 g -

Sec, 5 YR 4/6 (rouge jaunâtre), taches 10 YR 4/6 (jaune brunâtre), et taches 10 YR 6/8 (jaune) ; concrétions sesquioxidiques noirâtres, friables, de 0,5 à 1 cm de Ø ; argilo-sableux ; structure fragmentaire peu nette polyédrique sub-anguleuse fine ; peu poreux fin tubulaire ; transition diffuse et régulière,

- de 125 à 175 cm ; horizon B C g -

Apparition de fragments de schistes altérés mais non ferruginisés dans un matériau identique au précédent, encore plus taché,

Résumé : Presque plus d'accumulations gravillonnaires ; appauvrissement argileux superficiel net et légère accumulation argileuse vers 40 cm, cependant pas d'argilanes ; plus d'altérites ferrallitiques en profondeur ; hydromorphie encore discrète et actuelle en profondeur (concrétions de milieu hydromorphe),

#### DESCRIPTION DE LA SURFACE DU SOL :

Rares plages gravillonnaires en surface, pellicule de battance généralisée sur 0,2 à 0,5 cm d'épaisseur, 5 % du sol couvert par des chaumes de mil, une touffe de Graminées adventices (jachère) tous les 3 m, micro-ondulations de terrain apériodiques de faible amplitude (2 à 5 cm),

#### DONNEES ANALYTIQUES

##### Granulométrie

Prélév.	Profond.	Hor.	E.G.	A.	L.F.	L.G.	S.F.	S.G.
	cm		%	%	%	%	%	%
PNI 131	0 à 9	A 1	0,01	17,8	10,1	20,8	32,6	16,3
PNI 132	12 à 25	A B	2,5	33,8	9,8	15,1	23,5	15,2
PNI 133	35 à 45	B 1	5,4	44,2	8,8	14,2	17,9	12,3
PNI 134	65 à 80	B 21	3,5	37,2	10,2	13,3	17,6	19,6
PNI 135	100 à 115	B 22 g	0,01	40,4	14,1	14,3	18,1	10,7
PNI 136	150 à 170	B C g	2,7	42,3	11,7	14,6	14,3	14,4

##### Structure

Prélév.	D.A.	D.R.	P.T.	Agr.a.	Agr.e.	Agr.b.	I s	K
	g/cm³	g/cm³	%	%	%	%		cm/h
PNI 131	1,46	2,65	45,0	25,8	23,9	21,7	4,1	1,67
PNI 132	1,52	2,67	43,0	39,1	26,1	16,3	3,3	2,97
PNI 133	1,57	2,68	41,0	43,4	30,5	12,2	3,1	2,42
PNI 134	1,61	2,62	38,0					
PNI 135	1,79	2,62	32,0					

##### Relations sol-eau

Prélév.	Humidité à # potentiels matriciels				Humidité à # limites mécaniques			
	pF 4,2	pF 3,0	pF 2,8	pF 2,5	liquid.	plast.	retrait:	adhés.
	%				%			
PNI 131	7,8	15,7		18,4				
PNI 132	12,1	18,3		20,9				
PNI 133	14,7	22,5		22,9				
PNI 134	14,7	20,2		22,1				
PNI 135	15,2	21,1		21,8				



## Complexe absorbant

Prélèv.	M.O.	C/N	Bases échangeables				S	T	S/T	pH eau
			Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>				
	%		mé/100g							
PNI 131	1,45	11,4	4,10	3,60	0,29	0,01	8,00	8,00	sat.	7,5
PNI 132	1,07	9,1	4,75	4,30	0,15	0,04	9,24	9,49	97,4	7,2
PNI 133	0,62	7,8	5,00	5,00	0,26	0,05	10,31	11,12	92,7	6,9
PNI 134	0,34	5,6	5,10	4,80	0,33	0,04	10,27	10,85	94,6	6,9
PNI 135			6,60	5,25	0,25	0,02	12,12	11,84	sat.	6,8
PNI 136			9,50	6,10	0,15	0,05	15,80	15,10	sat.	7,1

## Attaque triacide sur la fraction 0 à 2mm

Prélèv.	Rés. q.	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	MnO <sub>2</sub>	P. feu	Rapp. mol.
												SiO <sub>2</sub> /Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
PNI 131	63,70	10,50	8,20	9,80	1,19					0,09	5,45	2,18
PNI 132	50,70	16,10	12,00	11,30	1,40					0,09	6,70	2,28
PNI 134	40,00	19,80	15,30	14,10	1,55					0,25	7,65	2,20
PNI 136	36,80	21,70	15,30	14,70	1,58					0,18	8,00	2,41

## PROFIL : SAINT PAUL 1

**LOCALISATION :** Burkina Faso, Région de Kongoussi, Bassin versant du lac de Bam (étude hydrologique ORSTOM), 13°20' N - 01°30' W, amont d'un versant délimité par une crête de quartzite, site à 125 m de la ligne de crête, sur glacis de piémont étroit (environ 20 m), pente de 4,5 %.

**DATE :** avril 1975

**MATÉRIAU ORIGINEL :** panneau de quartzite intercalé dans les schistes pélitiques birrimiens,

**CLASSIFICATION** (selon C.P.C.S. 1967) : Sol peu évolué (Class.), non climatique (S/Class.), d'érosion (6r.), lithique (S/Gr.), sur quartzite métamorphique (Fam.).

**DESCRIPTION DU PROFIL TYPE :**

- de 0 à 0,5 cm -

Cf. "Description des organisations superficielles"

- de 0,5 à 10 ou 15 cm ; horizon A 1 -

Sec, 10 YR 5/3 (brun), sans taches ; rares graviers et cailloux de quartzite ; sableux fin et grossier ; structure particulaire ; très poreux ; meuble ; transition distincte, ondulée.

- de 10 ou 15 à 15 ou 25 cm ; horizon A 2 u -

Sec, 10 YR 6/3 (brun pâle), sans taches ; nombreux graviers et cailloux de quartzite légèrement ferruginisés, rares blocs ; sableux fin et grossier ; structure particulaire ; meuble ; très poreux ; transition graduelle et régulière.

- de 15 ou 25 à 70 cm ; horizon A R, localement A C -

Sec, 8,75 YR 7/6 (jaune), sans taches ; cailloux et blocs de quartzite alignés selon le litage, ferruginisation des cailloux (auréoles rouilles) ; matrice meuble sableuse grossière ; structure particulière ; transition nette irrégulière.

- au-delà de 70 cm ; horizon R -

Dalle de quartzite non altérée en place ; rarement fissurée au niveau de la fosse.

Résumé ; Profil faisant généralement moins de 70 cm sur le site ; désagrégation physique de la roche et légère altération se traduisant par une ferruginisation discrète mais peu d'argilogénèse étant donné sa nature pétrographique ; roche diaclasée, aussi possibilité de fissures en d'autres endroits que celui décrit.

#### DESCRIPTION DES ORGANISATIONS SUPERFICIELLES :

Aucune strate herbacée mais un buisson d'épineux pour environ 5 m<sup>2</sup> ; recouvrement lâche par un cailloutis de quartzite (10 à 15 %) ; pellicule de battance continue sur 0,5 cm, plus ou moins consolidée par des algues et lichens ; quelques rigoles d'érosion anastomosées en dehors du site, et laissant apparaître par endroit la dalle rocheuse.

#### DONNEES ANALYTIQUES

##### Granulométrie

Prélév.	Profond.	Hor.	E.G.	A.	L.F.	L.G.	S.F.	S.G.
	cm		%	%	%	%	%	%
SPD 211	0 à 5	A 1 (u)	1,5	6,4	3,2	11,7	40,3	30,8
SPD 212	10 à 15	A 2 u	30,5	7,5	4,3	11,8	31,5	44,4
SPD 213	40 à 50	A R	22,1	13,6	4,5	6,6	16,0	59,9

##### Structure

Prélév.	D.A.	D.R.	P.T.	Agr.a.	Agr.e.	Agr.b.	I s	K
	g/cm <sup>3</sup>	g/cm <sup>3</sup>	%	%	%	%		cm/h
SPD 211	1,48	2,60	43,0	37,3	37,3	35,8	1,40	1,20
SPD 212	1,46	2,60	43,8	44,5	44,3	42,5	1,00	1,50
SPD 213	1,40	2,60	46,1					

##### Relations sol-eau

Prélév.	Humidité à # potentiels matriciels				Humidité à # limites mécaniques			
	pF 4,2	pF 3,0	pF 2,8	pF 2,5	liquid.	plast.	retrait	adhés.
	%				%			
SPD 211	2,8	7,1		7,2				
SPD 212	3,2	5,5		7,0				

##### Complexe absorbant

Prélév.	M.O.	C/N	Bases échangeables			Na <sup>+</sup>	S	T	S/T	pH eau
	%		Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>					
			mé/100g				mé/100g		%	
SPD 211	1,05	12,2	1,04	0,93	0,24	0,01	2,22	3,58	62,0	6,6
SPD 212	0,39	8,8	0,80	0,72	0,06	0,01	1,59	3,20	49,3	5,9
SPD 213			0,26	0,32	0,06	0,01	0,45	3,20	14,1	5,5

## PROFIL : SAINT PAUL 2

**LOCALISATION** : Burkina Faso, Région de Kongoussi, Bassin versant du lac de Ban (étude hydrologique ORSTOM), 13°20' N - 01° 30' W, au milieu d'un versant rectiligne de 1140 m, site à 635 m de la ligne de crête de quartzite, pente de 2,6 %.

**DATE** : avril 1975

**MATERIAU ORIGINEL** : colluvions sableux provenant de la désagrégation et de l'altération de quartzite et reposant sur les schistes pélitiques birrimiens.

**CLASSIFICATION** (selon C.P.C.S., 1967) : Sol à sesquioxydes de fer (Class.), ferrugineux tropical (S/Class.), lessivé (Gr.), à concrétions et hydromorphe (S/Gr.), sur colluvions quartzitiques et schistes pélitiques birrimiens (Fam.)

### DESCRIPTION DU PROFIL TYPE :

- de 0 à 0,2 à 1 cm -

Cf. "Description des organisations superficielles"

- de 0,2 ou 1,0 à 23 cm : horizons A 11 et A 12 -

Sec, 10 YR 6/4 (brun jaunâtre clair), sans taches ; sableux fin ; structure particulière passant à massive au-delà de 15 cm ; cohérent ; fissures verticales tous les 70 cm débouchant en surface au niveau des zones à pellicules de battance ; très poreux fin et grossier tubulaire ; transition distincte régulière de teinte.

- de 23 à 40 cm : horizon A 8 -

Sec, 5 YR 5/4 (rouge jaunâtre), sans taches ; sablo-argileux ; structure massive ; très cohérent ; fissurations verticales ; très poreux fin et moyen tubulaire ; transition distincte et régulière.

- de 40 à 95 cm : horizon B 21 -

Sec, 5 YR 5/6 (rouge jaunâtre), sans taches ; sablo-argileux ; structure massive ; cohérent ; fissurations verticales ; très poreux tubulaire grossier et très grossier, et poreux vacuolaire large ; argilanes épais sur tubes et vacuoles ; transition distincte et régulière.

- de 95 à 150 cm : horizon B 22 v -

Sec, 5 YR 5/6 (rouge jaunâtre), quelques taches plus jaunes et plus rouges ; quelques concrétions ferrugineuses, friables, rares graviers et cailloux de quartzite ; sablo-argileux ; structure massive ; cohérent ; porosité identique à celle du B 21 mais peu ou plus d'argilanes ; disparition des fissurations verticales vers 100 cm ; transition graduelle et régulière.

- de 150 à 190 cm : horizon B 23 g -

Sec, nombreuses taches dans les nuances suivantes ; 10 YR 6/4 (brun jaunâtre clair), 5 YR 5/8 (rouge jaunâtre clair), et 10 YR 8/1 (blanc), ces dernières associées aux porosités ; sablo-limoneux ; structure massive ; poreux fin et moyen tubulaire ; argilanes épais blanchâtres associés aux plus gros tubes.

**Résumé** : profil colmaté en surface ; mais généralement forte porosité tubulaire sur la plus grande partie du profil ; deux niveaux d'accumulation d'argile sous la forme d'argilanes épais, vers -60 cm et vers -160 cm ; hydromorphie actuelle à partir de 160 cm et concrétionnement vers les limites de battement d'une nappe temporaire, soit entre 110 et 140 cm.

## DESCRIPTION DES ORGANISATIONS SUPERFICIELLES :

Micromodèle généralisé résultant d'ancien billonnage pour la culture du sorgho ; en sommet des anciens billons (10 cm d'amplitude) ; pellicules de battance de 0,2 cm environ, par contre, sur les flancs et dans les creux de ces anciens billons ; recouvrements sableux provenant d'apports hydriques (sables >> limons) ; chaumes de sorgho coupés à 20 ou 30 cm de hauteur, en touffes tous les 50 cm en sommet des micromodèles ; rares blocs de quartzite (2 à 3 pour 50 m<sup>2</sup>).

## DONNEES ANALYTIQUES

## Granulométrie

Prélèv.	Profond.	Hor.	E.G.	A.	L.F.	L.G.	S.F.	S.G.
	cm		%	%	%	%	%	%
SPD 221	0 à 5	A 11	0,01	6,1	2,1	17,7	47,1	27,4
SPD 222	15 à 20	A 12	0,01	11,4	5,6	15,7	38,6	28,9
SPD 223	25 à 35	A 8	0,01	22,3	4,0	12,3	35,9	25,7
SPD 224	60 à 70	B 21	0,01	26,9	5,1	14,2	34,1	19,6
SPD 225	120 à 130	B 22 v	4,2	20,2	5,6	16,3	30,5	25,9
SPD 226	180 à 190	B 23 g	0,01	17,8	7,2	17,2	25,1	32,3

## Structure

Prélèv.	D.A.	D.R.	P.T.	Agr.a.	Agr.e.	Agr.b.	I s	K
	g/cm <sup>3</sup>	g/cm <sup>3</sup>	%	%	%	%		cm/h
SPD 221	1,61	2,63	38,8	26,6	25,6	26,9	2,1	0,7
SPD 222	1,58	2,58	38,7	27,0	27,0	25,0	3,7	1,2
SPD 223	1,57	2,60	39,6	28,4	26,5	25,3	4,9	2,5
SPD 224	1,62	2,50	35,2					
SPD 225	1,60	2,60	38,5					

## Relations sol-eau

Prélèv.	Humidité à # potentiels matriciels				Humidité à # limites mécaniques			
	pF 4,2	pF 3,0	pF 2,8	pF 2,5	liquid.	plast.	retrait	adhès.
	%				%			
SPD 221	2,2	4,9		5,7				
SPD 222	3,6	6,3		7,7				
SPD 223	5,7	9,6		11,5				
SPD 224	7,8	15,1		15,9				
SPD 225	7,4	14,8		15,7				
SPD 226	6,7	14,6		15,6				

## Complexe absorbant

Prélèv.	M.O.	C/N	Bases échangeables			Na <sup>+</sup>	S	T	S/T	pH eau
	%		Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>					
			mé/100g				mé/100g			
SPD 221	0,51	7,8	0,54	0,40	0,24	0,01	1,19	2,50	47,6	6,1
SPD 222	0,71	6,7	1,28	1,20	0,14	0,01	2,63	3,62	72,6	6,2
SPD 223	0,47	6,2	1,90	2,00	0,19	0,01	4,10	5,01	81,2	6,2
SPD 224	0,24	4,2	2,30	2,28	0,19	0,01	4,78	5,75	83,1	5,9
SPD 225			2,92	2,12	0,04	0,05	5,13	5,20	98,6	6,0
SPD 226			2,95	1,94	0,09	0,04	5,03	4,79	sat.	6,9



## DESCRIPTION DES ORGANISATIONS SUPERFICIELLES :

Site installé sur une jachère de sorgho de 2 ans envahie par des buissons d'épineux (1 buisson pour environ 2 m<sup>2</sup>) ; 40 % de la surface du sol couverts par des Graminées adventices couchées sur le sol ; large réseau de fissurations ouvertes sur la surface, 5 à 10 cm de largeur, 120 à 150 cm de profondeur, traçant un réseau sinueux de quelque 4 m d'équidistance, rares effondrements (3 à 4 pour 50 m<sup>2</sup>) formant des cuvettes de 10 à 15 cm de profondeur et 20 à 30 cm de diamètre ; copeaux de dessiccation provenant de pellicules de décantation sur environ 0,5 à 1,0 cm ; quelques amas de sables fins éoliens, discontinus ; les organisations pelliculaires sont interrompues par le réseau des fentes de retrait.

## DONNEES ANALYTIQUES

## Granulométrie

Prélév.	Profond.	Hor.	E.G.	A.	L.F.	L.G.	S.F.	S.G.
	cm		%	%	%	%	%	%
BT6 31	0 à 3	A	5,0	26,3	10,4	15,6	30,5	14,0
BT6 32	7 à 15	A	0,01	36,2	12,2	13,0	23,7	12,0
BT6 33	50 à 60	(B) 1	11,3	39,4	12,2	12,4	22,2	9,4
BT6 34	140 à 150	(B)2(gr)(Ca)	31,3	40,7	13,3	13,4	22,3	7,1

## Structure

Prélév.	D.A.	D.R.	P.T.	Agr.a.	Agr.e.	Agr.b.	I s	K
	g/cm <sup>3</sup>	g/cm <sup>3</sup>	%	%	%	%		cm/h
BT6 31	1,56	2,66	41,3	21,2	16,1	13,3	5,50	3,65
BT6 32	1,58	2,66	40,6	24,9	13,6	16,1	3,80	3,13
BT6 33	1,90	2,69	29,4					
BT6 34	1,86	2,65	29,8					

## Relations sol-eau

Prélév.	Humidité à $\phi$ potentiels matriciels				Humidité à $\phi$ limites mécaniques			
	pF 4,2	pF 3,0	pF 2,8	pF 2,5	liquid.	plast.	retrait	adhés.
	%				%			
BT6 31	9,9	22,8		21,9	23,9	19,3	12,5	
BT6 32	12,1	20,6		21,0	31,1	16,9	11,6	
BT6 33	14,5	21,4		23,7	36,9	24,5	9,7	
BT6 34	17,6	29,3		27,7	41,2	25,5	9,6	

## Complexe absorbant

Prélév.	M.O.	C/N	Ca <sup>++</sup>	Bases échangeables		Na <sup>+</sup>	S	T	S/T	pH eau
	%			Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>		mé/100g	mé/100g	%	
BT6 31	1,39	11,2	8,62	8,30	0,57	0,02	17,51	13,86	sat.	7,0
BT6 32	0,94	10,9	8,80	8,28	0,12	0,03	17,23	18,93	91,0	6,6
BT6 33	0,47	8,9	10,20	10,59	0,09	0,06	20,94	20,65	sat.	6,4
BT6 34			15,40	13,00	0,16	0,19	28,75	22,42	sat.	8,2

## Attaque triacide sur la fraction 0 à 2 mm

Prélév.	Rés.q.	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	MnO <sub>2</sub>	P. feu	Rapp. mol. SiO <sub>2</sub> /Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
BT6 32	54,60	16,90	10,20	7,30	0,99					0,12	6,55	2,82
BT6 34	49,60	20,20	12,00	7,90	1,09					0,10	7,15	2,86

## PROFIL : LOUMBILA 1

**LOCALISATION** : Burkina Faso, Région de Ouagadougou, lac de Loubila, paysage de collines à sommets plan-convexe étroits et longs versants rectilignes, 12°30'N - 01°24' W, zone de raccordement entre le sommet et le versant, à 150 m du sommet sur un versant de 2000 m environ de longueur, pente de 1,4 %.

**DATE** : juin 1975

**CLIMAT** : nord-soudanien, pluviométrie moyenne de 800 mm.

**MATERIAU ORIGINEL** : épandages gravillonnaires ferrugineux sur des altérites hydromorphes carapacées anciennes de granite birrimien calco-alcalin.

**CLASSIFICATION** (selon C.P.C.S. 1967) : Sol peu évolué (Class.), non climatique (S.Class.), d'érosion (Gr.), lithique (S/Gr.), sur épandage gravillonnaire et carapace ferrugineuse (Fam.).

### DESCRIPTION DU PROFIL TYPE :

- de 0 à 1 ou 2 cm -

Cf. "Description des organisations superficielles"

- de 1 ou 2 cm à 13 cm ; horizon A 11 gr -

Sec, brun, sans taches ; gravillons ferrugineux, arrondis, diamètre environ 0,5 cm ; sableux ; structure particulière ; très poreux interstitiel ; racines fines jusqu'à -10 cm ; transition distincte et régulière.

- de 13 à 17 ou 40 cm ; horizon A 12 gr -

Sec, 5 YR 6/5 (brun rougeâtre clair), sans taches ; sablo-faiblement argileux ; très nombreux gravillons ferrugineux, arrondis, diamètre de 0,5 à 1,0 cm ; structure fragmentaire peu nette polyédrique sub-anguleuse très fine ; forte porosité interstitielle et poreux tubulaire moyen à large ; transition nette ondulée à irrégulière.

- de 17 ou 40 à 150 cm ; horizon C 1 gr, cr -

Sec, carapace gravillonnaire, rares graviers et cailloux de quartz ; induration hétérogène ménageant des phases meubles cohérentes à porosité tubulaire large ; teintes générales rouges à jaune pâle ; transition de teinte graduelle et régulière.

- de 150 à 170 cm ; horizon C 2 cr, g -

Sec, carapace non ou peu gravillonnaire, brun pâle, gris clair et blanche ; faible porosité généralement vésiculaire ; induration homogène ; plus de phase meuble.

**Résumé** : épandage gravillonnaire meuble sur 25 cm environ ; carapacement ensuite au dépens de la phase gravillonnaire jusqu'à -150 cm ; carapace non gravillonnaire ensuite ; ensemble cependant poreux vacuolaire ; texture à dominante sableuse grossière.

### DESCRIPTION DES ORGANISATIONS SUPERFICIELLES :

Environ 35 % d'épandage gravillonnaire posé sur la surface du sol ; zones nues à voile sableux fin (tornade sèche peu de jours auparavant) ; discret micromodelé correspondant au reste d'un billonnage, actuellement ondulations de 5 cm d'amplitude, pellicule de battance en sommet d'ondulation et voiles sableux dans les dépressions ; environ 5 % de la surface du sol couverte par des chaumes de mil.

## DONNEES ANALYTIQUES

## Granulométrie

Prélév.	Profond.	Hor.	E.G.	A.	L.F.	L.G.	S.F.	S.G.
	cm		%	%	%	%	%	%
LBA 411	0 à 5	A 11 gr	12,3	5,1	3,5	13,3	26,9	50,5
LBA 412	7 à 12	A 11 gr	47,1	8,3	5,3	16,0	24,5	45,2
LBA 413	25 à 35	A 12 gr	69,6	17,6	5,1	13,5	17,1	45,9

## Structure

Prélév.	D.A.	D.R.	P.T.	Agr.a.	Agr.e.	Agr.b.	I s	K
	g/cm <sup>3</sup>	g/cm <sup>3</sup>	%	%	%	%		cm/h
LBA 411	1,59	2,65	40,0	39,2	38,5	37,5	1,26	1,13
LBA 412	1,88	2,85	33,0	41,6	39,1	35,9	1,90	1,10
LBA 413	2,19	2,85	23,0					

## Complexe absorbant

Prélév.	M.O.	C/N	Ca <sup>++</sup>	Bases échangeables Mg <sup>++</sup> K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	S	T	S/T	pH eau
	%			mé/100g		mé/100g		%	
LBA 411	0,83	10,2							
LBA 412	1,06	11,9							

## Attaque triacide sur la fraction 0 à 2mm

Prélév.	Rés.q.	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	MnO <sub>2</sub>	P. feu	Rapp. mol. SiO <sub>2</sub> /Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
						%						
LBA 413	59,10	12,00	10,10	10,70	0,83					0,05	5,40	2,02
LBA 414	24,70	24,40	20,50	17,50	1,06					0,31	9,50	2,02

## PROFIL : KORHOGO 1

**LOCALISATION** : Côte d'Ivoire, Région de Korhogo, Bassin versant de Waraniéné-Korhogo (étude hydrologique DRSTOM), paysage de plateaux cuirassés, 9°25'N - 5°39' W, site installé sur le plateau, 100 m avant la rupture de pente, pente de 1,5 %.

**DATE** : avril 1976

**CLIMAT** : sub-soudanien, pluviométrie de 1350 mm à Korhogo (1945 à 1973).

**MATERIAU ORIGINEL** : granite calco-alcalin.

**CLASSIFICATION** (selon C.P.C.S. 1967) : Sol ferrallitique (Class.), moyennement désaturé (S/class.), remanié avec recouvrement (Gr.), induré (S/Gr.), sur granite calco-alcalin (Fam.).

## DESCRIPTION DU PROFIL TYPE :

- de 0 à 24 cm ; horizon A 1 -

Sec, 7,5 YR 4/4 (brun foncé), sans taches ; sans éléments grossiers ; sablo-argileux ; structure massive à éclats émoussés ; poreux tubulaire fin et moyen ; cohérent ; racines fines et chevelu abondants jusqu'à -7 cm ; transition distincte et régulière.



- de 24 à 40 cm ; horizon B 1 -

Sec, 5 YR 5/6 (rouge jaunâtre), sans taches ; sans éléments grossiers ; argileux ; structure massive à éclats anguleux ; cohérent ; poreux très fin tubulaire ; quelques racines fines ; traces d'activité des termites (loges hypogées tapissées de débris végétaux) ; transition distincte et régulière.

- de 40 à 125 cm ; horizon B 21 -

Sec, 5 YR 5/8 (rouge jaunâtre), sans taches ; sans éléments grossiers ; argileux ; structure massive à éclats anguleux ; très poreux, très fin tubulaire ; cohérent ; quelques racines fines ; transition nette et régulière.

- de 125 à 160 cm ; horizon B 22 V gr -

Sec, 2,5 YR 4/6 (rouge), nombreuses taches jaune brunâtre irrégulières, contrastées, à limites peu nettes ; gravillons ferrugineux, arrondis, sans cuticules, diamètre de 0,3 à 0,5 cm ; induration en carapace générale de l'horizon sauf en de larges vacuoles contenant un matériau meuble argilo-sableux jaune brunâtre.

Résumé : Profil assez représentatif des périphéries de plateau cuirassé ; assez différencié ; apparition brutale du carapacement vers 100 à 120 cm ; vers le centre du plateau les profils restent meubles et passent en profondeur à des argiles tachetées non indurées mais parfois en peu concrétionnées ; la rupture de pente est marquée par un affleurement sub-continu de cuirasse (stade plus poussé d'induration) peu épaisse sur granite et se désagrégeant assez facilement.

#### DESCRIPTION DE LA SURFACE :

Profil étudié au niveau d'une jachère de culture sur billons dont il subsiste des ondulations de terrain de 140 cm de période et 10 cm environ d'amplitude ; 10 % de la surface sont recouverts par des débris végétaux, le reste du sol est dénudé ; aucun élément grossier.

#### DONNEES ANALYTIQUES

##### Granulométrie

Prélév.	Profond. cm	Hor.	E.G. %	A. %	L.F. %	L.G. %	S.F. %	S.G. %
KWS 111	0 à 15	A 1	0,1	19,7	5,3	4,3	10,4	58,6
KWS 112	25 à 45	B 1	0,1	50,0	6,3	3,7	7,2	30,6
KWS 113	70 à 80	B 21	0,1	50,2	7,4	3,9	6,4	29,9

##### Structure

Prélév.	D.A. g/cm <sup>3</sup>	D.R. g/cm <sup>3</sup>	P.T. %	Agr.a. %	Agr.e. %	Agr.b. %	I s	K cm/h
KWS 111	1,74	2,33	25,32					
KWS 112	1,18	2,42	51,23					
KWS 113	1,79	2,38	24,79					

##### Relations sol-eau

Prélév.	Humidité à # potentiels matriciels pF 4,2 ; pF 3,0 ; pF 2,8 ; pF 2,5				Humidité à # limites mécaniques liquid. ; plast. ; retrait ; adhés.			
	%				%			
KWS 111	6,2	8,1		9,3				
KWS 112	14,2	16,2		16,7				
KWS 113	16,5	20,0		22,4				

## Complexe absorbant

Prélev.	M.O.	C/N	Bases échangeables				S	T	S/T	pH eau:
			Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>				
	%		mg/100g				mg/100g		%	
KWS 111	0,95	9,1	1,30	1,50	0,09	0,02	2,91	5,20	55,90	5,3
KWS 112	0,81	7,0	1,64	1,70	0,08	0,02	3,44	7,63	45,1	5,5
KWS 113			0,96	1,02	0,07	0,02	2,07	7,12	29,1	5,5

## PROFIL : KORHOGO 2

**LOCALISATION** : Côte d'Ivoire, Région de Korhogo, Bassin versant de Korhogo-Waraniéné (étude hydrologique ORSTOM), Paysage des plateaux cuirassés, 09°25' N - 05°39' W, site installé au tiers supérieur d'un versant de 900 m délimité en amont par la corniche cuirassée et en aval par le bas fond alluvial, localement pente de 2,7 % sur une portion de versant rectiligne.

**DATE** : avril 1976

**CLIMAT** : sub-soudanien, pluviométrie de 1350 mm à Korhogo (1945 à 1973).

**MATERIAU ORIGINEL** : altérations de granite calco-alcalin et épandages gravillonnaires assez peu denses.

**CLASSIFICATION** (selon C.P.C.S. 1967) : Sol ferrallitique (Class.), moyennement désaturé (S/Class.), remanié et lessivé (Gr.), modal (renaniment) (S/Gr.), sur granite calco-alcalin (Fam.).

**DESCRIPTION DU PROFIL TYPE :**

- de 0 à 1,0 ou 1,5 cm -

Cf. "Description des organisations superficielles"

- de 1,0 ou 1,5 cm à 15 ou 20 cm : horizon A 1 gr

Sec, 5 YR 3/3 (brun rougeâtre foncé), sans taches ; très nombreux gravillons ferrugineux, arrondis, sans cuticules, mal classés (diamètre de 0,5 à 2,0 cm) ; sablo-faiblement argileux ; structure fragmentaire peu nette polyédrique sub-anguleuse fine ; cohérent ; non fragile ; très poreux interstitiel ; nombreuses racines fines avec chevelu développé jusqu'à -7 cm ; nombreuses traces d'activité des termites (loges, granules débris végétaux) ; transition nette et ondulée de couleur, de structure et de cohésion.

- de 20 à 40 ou 50 cm : horizon B 1 gr, u -

Sec, 5 YR 4/6 (rouge jaunâtre), quelques taches plus sombres, contrastées, irrégulières et à limites peu nettes (pénétrations humifères) ; graviers abondants dont 3/4 de gravillons ferrugineux de même nature et dimension que précédemment et 1/4 de quartz énoissés, corrodés, très ferruginisés ; argilo-sableux ; structure massive juxtaposée à fragmentaire peu nette polyédrique moyenne ; peu poreux tubulaire fin, peu poreux vacuolaire large et très large ; cohérent ; non fragile ; argilanes épais sur les gros tubes et vacuoles ; quelques racines fines mais plus de chevelu ; transition nette et ondulée.

- de 40 ou 50 à 120 cm : horizon B 21 gr (v)

Sec, 5 YR 4/6 (rouge jaunâtre), taches jaune pâle, irrégulières et contrastées, à limites peu nettes ; abondants gravillons ferrugineux, rares graviers de quartz corrodés et ferruginisés ; argileux ; structure fragmentaire peu nette polyédrique moyenne ; poreux tubulaire moyen à large, plus rarement vacuolaire ; cohérent ; non fragile ; argilanes peu épais et de teinte claire sur les plus grosses porosités ; très peu de racines fines ; transition de couleur graduelle et régulière.

- de 120 à 200 cm : horizon B 22 v, gr, u -

Sec, 2,5 YR 4/6 (rouge), nombreuses taches jaunâtres en haut, devenant claires beiges et grises vers le bas, contrastées, en trainées et irrégulières, à limites de plus en plus nettes en profondeur ; graviers et cailloux de quartz répartis de façon hétérogène, répartition liée à la présence d'un filon de quartz en voie de désagrégation, de moins en moins de gravillons ferrugineux ; argilo-sableux à sables grossiers dominants ; structure massive à éclats anguleux ; très cohérent mais sans induration ; peu poreux tubulaire et vacuolaire à argilanes clairs peu épais.

Résumé : Profil caractéristique de la portion amont du versant ; nappe gravillonnaire reposant sur des argiles tachetées non indurées ; entraînement puis accumulation importante d'argile sous la forme d'argilanes entre 40 et 120 cm ; vers l'aval du versant on note par contre les modifications suivantes : éclaircissement et jaunissement des horizons B, induration hétérogène des argiles tachetées de plus en plus près de la surface, c'est ainsi qu'une carapace affleure généralement sans rupture de pente notable vers le 1/4 inférieur du versant.

#### DESCRIPTION DES ORGANISATIONS SUPERFICIELLES :

Ce profil est situé sur une ancienne jachère de 4 ou 5 ans, subissant des brûlis annuels, il y subsiste des touffes de chaumes graminéens tous les 15 à 20 cm, discret recré de 25 cm environ (premières pluies récentes) ; surface du sol couverte par un épandage sub-continu et monoparticulaire de gravillons de quelque 1,0 cm de diamètre posés sur le sol, recouvrement 70 % environ, pellicules de battance ailleurs, pas de dépôts sableux.

#### DONNEES ANALYTIQUES

##### Granulométrie

Prélév.	Profond.	Hor.	E.G.	A.	L.F.	L.G.	S.F.	S.G.
	cm		%	%	%	%	%	%
KWS 121	0 à 10	A 1 gr	65,2	15,7	8,9	6,0	23,5	45,9
KWS 122	25 à 35	B 1 gr, u	59,1	44,9	5,3	4,1	11,4	34,2
KWS 123	70 à 80	B 21 gr, (v)	45,3	53,2	8,4	4,3	8,2	25,5
KWS 124	130 à 140	B 22 v, gr, u	18,0	32,4	1,7	3,3	11,5	51,0
KWS 125	180 à 190	B 22 v, gr	2,3	26,8	8,5	5,5	17,7	41,3

##### Structure

Prélév.	D.A.	D.R.	P.T.	Agr.a.	Agr.e.	Agr.b.	I s	K
	g/cm <sup>3</sup>	g/cm <sup>3</sup>	%	%	%	%		cm/h
KWS 121	1,60	2,70	40,7					
KWS 122	1,65	2,68	38,43					
KWS 123	1,70	2,70	37,03					
KWS 124	2,00	2,65	24,50					

##### Relations sol-eau

Prélév.	Humidité à $\phi$ potentiels matriciels				Humidité à $\phi$ limites mécaniques			
	pF 4,2	pF 3,0	pF 2,8	pF 2,5	liquid.	plast.	retrait	adhés.
	%				%			
KWS 121	4,8	12,0	12,5	15,5				
KWS 122	7,8	14,1	17,0	18,5				
KWS 123	9,7	20,7	21,8	25,0				
KWS 124	7,9	20,3	20,7	24,1				
KWS 125	6,4	20,7	21,6	25,4				

## Complexe absorbant

Prélèv.	M.O.	C/N	Bases échangeables				S	T	S/T	pH eau:
			Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>				
	%		mé/100g				mé/100g		%	
KWS 121	2,74	18,3	2,31	2,53	0,18	0,04	5,06	8,81	57,4	6,5
KWS 122	1,67	15,3	1,01	0,88	0,06	0,05	2,00	8,25	24,2	5,5
KWS 123	0,49	8,0	0,86	0,47	0,04	0,06	1,43	7,53	18,9	5,5
KWS 124			0,62	0,49	0,10	0,05	1,26	5,95	21,2	5,8
KWS 125			0,53	0,43	0,08	0,05	1,09	6,70	16,3	5,4

## PROFIL : KORHOGO 5

**LOCALISATION** : Côte d'Ivoire, Région de Korhogo, Bassin versant de Waraniéné - Korhogo (étude hydrologique ORSTOM), Paysage des plateaux cuirassés du nord de la Côte d'Ivoire, 09°25' N - 05°39' W, site installé en bas d'un versant de 900 m de longueur, à 15 m environ du flat alluvial, localement pente de 2,5 % et à environ 1 m au dessus du niveau du flat.

**DATE** : avril 1976

**CLIMAT** : sub-soudanien, pluviométrie moyenne de 1350 mm à Korhogo (1945 à 1973).

**MATERIAU ORIGINEL** : granite calco-alcalin,

**CLASSIFICATION** (selon C.P.C.S. 1967) : Sol hydromorphe (Class.), minéral (S/Class.), à pseudogley (Gr.), à nappe perchée (S/Gr.), sur granite calco-alcalin (Fam.), à lessivage ou suffosion de la matrice argileuse (Sér.).

## DESCRIPTION DU PROFIL TYPE

- de 0 à 0,5 ou 1,5 cm -

Cf. "Description des organisations superficielles"

- de 0,5 ou 1,5 à 18 cm : horizon A 1 -

Sec, 8,75 YR 7/2 (gris clair), sans taches ; sans éléments grossiers ; sableux grossier ; structure massive ; poreux interstitiel et tubulaire moyen ; pas de revêtements ; cohérent ; fragile ; transition diffuse et régulière.

- de 18 à 36 cm : horizon A 21 -

Sec, 7,5 YR 7/2 (gris rosâtre), sans taches ; graviers et cailloux peu abondants d'éléments ferrugineux ; sableux grossier faiblement argileux ; structure massive ; poreux tubulaire moyen ; sans revêtements ; cohérent ; moins fragile qu'en A 1 ; transition graduelle et régulière.

- de 36 à 47 cm : horizon A 22 g -

Sec, 7,5 YR 7/2 (gris rosâtre), quelques taches 2,5 YR 5/2 (rouge terne), contrastées, limites nettes, plus cohérentes ; sablo-argileux à sables grossiers ; structure massive ; cohérent ; non fragile ; poreux moyen à grossier tubulaire ; sans revêtements ; transition distincte et régulière.

- de 47 à 80 cm : horizon g 1 -

Sec, 7,5 YR 6,5/4 (brun clair), taches 7,5 YR 7/0 (blanches), contrastées, irrégulières, sans relations, aussi cohérentes, autres taches 2,5 YR 4/8 (rouges), irrégulières, contrastées, diamètre de 0,5 à 1,0 cm, limites nettes, légèrement plus cohérentes, sans relations ; graviers de quartz peu abondants de 0,2 à 0,4

cm de diamètre ; argilo-sableux avec sables grossiers ; structure massive ; cohérent ; non fragile ; très poreux, moyen à large tubulaire ; argilanes épais sur les gros tubes ; transition graduelle et régulière.

- de 80 à 120 cm ; horizon g 2 -

Sec, 10 YR 8/1 (blanc), taches 10 YR 7/8 (jaunes), en auréoles autour des zones rouges plus cohérentes, autre taches 7,5 YR 6/4 (brun clair), associées aux porosités ; graviers de quartz peu abondants ; argilo-sableux à argileux à sables grossiers dominants ; structure massive ; poreux large tubulaire ; fissurations verticales ; épais argilanes sur les tubes et les fissures ; très cohérent ; non fragile.

Résumé ; Profil caractéristique des bas de versant de la région sur granite ; deux matériaux contrôlent l'hydraulicité des sols ; circulation hypodermique de l'eau dans les horizons sableux au dessus d'un plancher peu perméable constitué par les pseudogley ; en d'autres cas, l'eau des nappes des versants peut aussi traverser le pseudogley, elle est alors sous pression, le système fonctionne dès lors comme un puits artésien dont les magasins seraient des horizons pédologiques et non des bancs rocheux ; on note d'épais argilanes dans les horizons g 1 et g 2, lieux d'accumulation d'argile pouvant provenir soit du versant, soit de la partie supérieure du profil, il est donc difficile de connaître l'origine des horizons A 2 : soit lessivage (ou suffosion), avec départ du plasma argileux, soit colluvionnements sableux provenant de l'amont ?).

#### DESCRIPTION DES ORGANISATIONS SUPERFICIELLES :

Jachère de quelques années au milieu d'une zone abondamment cultivée en buttes (ignames) et en planches (maraîchage) ; touffes de graminées adventices tous les 20 cm ; voile sableux blanc continu en surface sur 0,5 à 1,5 cm ; surface du sol plane.

#### DONNEES ANALYTIQUES

##### Granulométrie

Prélèv.	Profond.	Hor.	E.G.	A.	L.F.	L.G.	S.F.	S.G.
	cm		%	%	%	%	%	%
KWS 151	0 à 10	A 1	1,1	3,7	6,3	6,9	22,1	61,1
KWS 152	25 à 35	A 21	2,8	9,0	5,3	5,7	23,0	57,0
KWS 153	50 à 60	g 1	0,1	33,9	6,7	4,8	10,0	44,5
KWS 154	110 à 120	g 2	6,7	43,8	5,4	5,0	10,2	35,7

##### Structure

Prélèv.	D.A.	D.R.	P.T.	Agr.a.	Agr.e.	Agr.b.	I s	K
	g/cm <sup>3</sup>	g/cm <sup>3</sup>	%	%	%	%		cm/h
KWS 151	1,50	2,50	40,0					
KWS 152	1,74	2,45	29,0					
KWS 153	1,74	2,42	28,0					
KWS 154	1,72	2,36	27,1					

##### Relations sol-eau

Prélèv.	Humidité à # potentiels matriciels				Humidité à # limites mécaniques			
	pF 4,2	pF 3,0	pF 2,8	pF 2,5	liquid.	plast.	retrait	adhés.
	%				%			
KWS 151	2,6	3,7		4,7				
KWS 152	3,1	5,3		6,7				
KWS 153	9,1	11,5		14,1				
KWS 154	11,6	14,7		17,4				

## Complexe absorbant

Prélév.	M.O.	C/N	Bases échangeables				S	T	S/T	pH eau
			Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>				
	%		mé/100g				mé/100g		%	
KWS 151	0,38	5,9	0,46	0,44	0,11	0,02	1,03	1,89	54,5	5,9
KWS 152	0,39	8,1	0,60	0,44	0,07	0,01	1,12	1,47	76,2	6,1
KWS 153			0,90	0,90	0,05	0,01	1,86	3,85	48,3	5,5
KWS 154			1,05	1,04	0,07	0,01	2,17	4,26	50,9	5,5

## PROFIL : SAKASSOU 1

**LOCALISATION :** Côte d'Ivoire, Centre, Région du "V baoulé", Bassin versant de Sakassou (étude hydrologique ORSTOM), 06°33' N - 04°49' W, Site installé légèrement sous un axe d'interfluve (limite des bassins versants Est et Ouest), en amont d'un versant de 400 m, pente locale de 2,5 à 3,0 %.

**DATE :** février 1976

**CLIMAT :** guinéen mésophile, pluviométrie moyenne de 1213 mm à Dimbokro (1922 à 1975).

**MATERIAU ORIGINEL :** granites migmatitiques (granites baoulé)

**CLASSIFICATION** (selon C.P.C.S. 1967) : Sol ferrallitique (Class.), moyennement désaturé (S/Class.), remanié (Gr.), légèrement appauvri (S/Gr.), sur granite migmatitique (Fam.), à couverture meuble peu épaisse (Sér.).

**DESCRIPTION DU PROFIL TYPE :**

- de 0 à 2 ou 3 cm -

Cf. "Description des organisations superficielles"

- de 2 ou 3 à 7 cm ; horizon A 11 -

Frais, 10 YR 4/2 (brun grisâtre foncé), sans taches ; sans éléments grossiers ; sableux grossier ; structure fragmentaire nette grumeleuse très fine et fine, associée à des fragments de turricules de vers ; forte porosité interagrégat ; meuble ; nombreuses racines fines à chevelu abondant ; transition régulière et graduelle.

- de 7 à 32 cm ; horizon A 12 -

Frais, 10 YR 3/3 (brun foncé), quelques taches 5 YR 4/6 (rouge jaunâtre), de 1,5 cm de diamètre, associées aux galeries de vers ; sans éléments grossiers ; sableux grossier faiblement argileux ; structure massive ; cohérent ; poreux tubulaire très fin et fin, pores moins nombreux tubulaires larges et très larges, quelques porosités vacuolaires, parois des pores à revêtements organo-argileux, vésicules tapissées de sables grossiers déliés, gris jaunâtre ; racines fines, abondant chevelu ; transition graduelle et régulière.

- de 32 à 48 cm ; horizon B 1 -

Sec, 7,5 YR 5/4 (brun), taches plus grises par incorporation hétérogène de matière organique, en traînées verticales de 2 cm de largeur environ, irrégulières, assez contrastées, à limites nettes ; sans éléments grossiers ; sablo-grossier argileux ; structure massive ; poreux très fin tubulaire, pores peu nombreux moyens tubulaires, quelques fissures verticales à revêtements organiques ; très cohérent ; quelques racines fines, plus de chevelu ; activité discrète et actuelle des termites ; transition graduelle et régulière.

- de 48 à 60 cm ; horizon B 21 -

Sac, 5 YR 6/6, rouge jaunâtre), sans taches ; sans éléments grossiers ; sablo-grossier argileux ; structure massive ; poreux très fin tubulaire, rares tubes moyens sans revêtements ; très cohérent ; quelques racines fines et moyennes, pas de chevelu ; transition nette et ondulée.

- de 60 à 135 cm ; horizon B 22 u, gr -

Accumulation d'environ 50 % d'éléments grossiers dont 3/4 de graviers et cailloux de quartz (graviers plus nombreux en sommet, mélange homogène vers -80 cm), le quartz est corrodé, craquelé et assez écaillé, et 1/4 de gravillons ferrugineux arrondis, sans cuticule, diamètre voisin de 1,0 cm, matrice meuble rouge jaunâtre sans taches jusqu'à 120 cm, tachée de jaune pâle et rouge vif en dessous ; sablo-argileuse ; structure non discernable.

Résumé : Profil caractéristique des sommets d'interfluve délimitant le réseau hydrographique d'ordre 1 ; 20 à 80 cm de couverture meuble au-dessus d'une stone-line essentiellement quartzeuse ; appauvrissement important et profond, non compensé par une intense activité des vers car ceux-ci évitent les niveaux d'éléments grossiers et ne descendent donc pas dans les horizons plus argileux de profondeur ; très forte porosité dans l'horizon A 11 trituré par les vers en saison des pluies ; incorporation hétérogène de la matière organique assez caractéristique des horizons sableux par différences de tassement des sables.

#### DESCRIPTION DES ORGANISATIONS SUPERFICIELLES :

Région des savanes dites "humides" de Côte d'Ivoire soumise au brûlis en saison sèche ; il subsiste alors des touffes de collets de Graminées carbonisées tous les 20 cm laissant donc une grande partie du sol dénudée ; localement 30 % du sol occupé par des turricules de vers (2 à 5 cm de hauteur) et leurs débris (piétinement par le bétail), d'autres endroits sont occupés à 60 % par ces turricules (ce qui représente environ 10 kg de déjections au mètre carré).

#### DONNEES ANALYTIQUES

##### Granulométrie

Prélèv.	Profond.	Hor.	E.G.	A.	L.F.	L.G.	S.F.	S.G.
	cm		%	%	%	%	%	%
SKS 131	0 à 5	A 11	0,1	9,7	4,7	8,5	33,9	43,4
SKS 132	20 à 30	A 12	0,1	11,0	4,1	7,1	26,0	51,8
SKS 133	50 à 60	B 21	12,6	15,4	4,7	6,9	25,3	47,7
SKS 134	120 à 130	B 23v,u,gr	45,4	26,4	5,6	7,1	18,9	42,0

##### Structure

Prélèv.	D.A.	D.R.	P.T.	Agr.a.	Agr.e.	Agr.b.	I s	K
	g/cm <sup>3</sup>	g/cm <sup>3</sup>	%	%	%	%		cm/h
SKS 131	1,38	2,61	47,1	57,0	55,6	50,6	0,94	41,0
SKS 132	1,40	2,55	45,1	58,4	53,5	49,0	2,16	17,4
SKS 133	1,85	2,64	29,9					
SKS 134	1,81	2,65	31,7					

##### Relations sol-eau

Prélèv.	Humidité à $\phi$ potentiels matriciels				Humidité à $\phi$ limites mécaniques			
	pF 4,2	pF 3,0	pF 2,8	pF 2,5	liquid.	plast.	retrait	adhés.
	%				%			
SKS 131	6,3	6,7		8,0				
SKS 132	5,3	6,4		7,4				
SKS 133	5,1	6,7		8,3				

## Complexe absorbant

Prélèv.	M.O.	C/N	Bases échangeables				S	T	S/T	pH eau
	Ca <sup>++</sup>		Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>					
	%		me/100g			me/100g				
SKS 131	1,10	9,1	1,56	1,38	0,20	0,02	3,16	3,86	81,9	6,3
SKS 132	0,85	9,9	1,06	1,00	0,09	0,02	2,17	3,30	65,8	5,9
SKS 133			0,74	0,84	0,09	0,02	1,69	2,80	60,4	5,9
SKS 134			1,40	1,30	0,19	0,03	2,92	4,37	66,8	6,2

## PROFIL : SAKASSOU 2

**LOCALISATION** : Centre Côte d'Ivoire, Région du "V" baoulé, Bassin versant de Sakassou (étude hydrologique ORSTOM), 06°34' N - 04°50' W, Site installé sur un versant de 400 m surmontant un cours d'eau d'ordre 1 (limite des petits bassins versants Est et Ouest), 1/4 supérieur du versant, 10 m au dessus de l'affleurement d'un liseré cuirassé de versant, pente localement de 3,7 %.

**DATE** : février 1976

**CLIMAT** : guinéen mésophile, pluviométrie moyenne de 1213 mm à Dimbokro (1922 à 1975).

**MATERIAU ORIGINEL** : granite migmatitique (Granites baoulé)

**CLASSIFICATION** : Sol ferrallitique (Class.), moyennement désaturé (S/Class.), remanié (Gr.), lessivé et induré (S/gr.), sur granite migmatitique (Fam.), à éluviation importante dans les horizons A 2 (Sér.).

**DESCRIPTION DU PROFIL TYPE :**

- de 0 à 2 cm -

Cf. "Description des organisations superficielles"

- de 2 à 10 ou 20 cm ; horizon A 11 -

Frais, 10 YR 3/2 (brun grisâtre très foncé), sans taches ; sans éléments grossiers ; sablo-faiblement argileux ; structure fragmentaire nette grumeleuse juxtaposée à grenue fine, par endroit à sur-structuration polyédrique émoussée fine ; forte porosité interagrégat ; meuble ; sables déliés blanchis dans les vides ; très nombreuses racines fines, chevelu abondant ; transition nette et ondulée de couleur et apparition d'éléments grossiers

- de 10 ou 20 cm à 35 cm ; horizon A 12 u, gr -

Sec, 7,5 YR 4/2 (brun foncé), sans taches ; environ 75 % d'éléments grossiers dont 3/4 de graviers de quartz corrodés et ferruginisés et 1/4 de gravillons ferrugineux de 0,5 à 1,0 cm de Ø, rares cailloux de quartz plus anguleux, également corrodés et ferruginisés ; matrice meuble de texture sableuse faiblement argileuse ; structure non discernable ; forte porosité intersticielle et porosité tubulaire large à moyenne ; nombreuses racines fines, chevelu abondant ; transition distincte de couleur et de répartition des éléments grossiers.

- de 35 à 75 cm ; horizon A 2 u, (gr) -

Sec, 7,5 YR 4/4, (brun foncé), sans taches ; environ 75 % d'éléments grossiers dont la quasi-totalité de graviers (2/3) et de cailloux (1/3) de quartz corrodés et ferruginisés, très peu de gravillons ferrugineux ; matrice meuble sableuse ; structure peu discernable, tendance grenue fine ; forte porosité texturale et poreux tubulaire et vésiculaire moyen ; meuble ; cohésion faible ; nombreuses racines fines et chevelu encore important ; transition distincte et régulière de couleur, structure et répartition des éléments grossiers.



- de 75 à 120 cm ; horizon B 21 u, gr -

Sec, 3,75 YR 4/8 (rouge), quelques taches plus jaunes vers la base, environ 30 % d'éléments grossiers dont 3/4 de quartz (graviers de 0,5 à 0,8 cm et rares cailloux et blocs), moins corrodés que ceux du dessus, et 1/4 de gravillons ferrugineux ; matrice meuble argilo-sableuse ; structure fragmentaire nette, polyédrique fine juxtaposée à grenue très fine ; matrice formant des "ponts" entre les graviers ; très forte porosité tubulaire et vacuolaire moyenne à large ; meuble ; racines fines, chevelu moins abondant ; transition distincte et régulière de couleur et de répartition des éléments grossiers.

- de 120 à 150 cm ; horizon B 22 u, v -

Sec, 2,5 YR 5/8 (rouge), taches 7,5 YR 5/6 (brun vif), étendues et diffuses, sans relations avec les caractéristiques de l'horizon ; environ 15 % d'éléments grossiers qui sont surtout des graviers de quartz ; sablo-argileux ; structure massive à éclats lamellaires ; très forte porosité tubulaire et vacuolaire large à très large ; trace activité des termites (tubes contournés) ; argilanes épais (0,05 à 0,1 cm) sur les parois des gros tubes et vacuoles ; cohérent ; tendance à l'induration des zones les plus rouges ; transition distincte et ondulée de consistance.

- de 150 à 165 cm ; horizon B 23 V -

Sec, accentuation du contraste des taches ; induration généralisée en une carapace ; accentuation de la porosité vacuolaire.

Résumé : Profil très différencié avec induration à 150 cm (à l'origine de la cuirasse affleurant 10 m en aval) ; transition texturale et structurale nette vers 100 cm sous des horizons éluviés ; accumulation d'argile dès 120 cm (argilanes) .. ensemble de caractères démontrant une forte circulation oblique de l'eau ; enracinement et chevelu important ; traces de fortes activités des vers (surface) et des termites ; couverture meuble de très faible épaisseur, la stone-line de quartz affleure par endroit.

#### DESCRIPTION DES ORGANISATIONS SUPERFICIELLES :

Région des savanes dites "humides" de Côte d'Ivoire soumises au brûlis de saison sèche ; il subsiste alors des collets de graminées tous les 20 cm laissant une grande partie du sol dénudé ; 70 % de la surface du sol couverts par des turricules de vers, ceux-ci disparaissant totalement dès le moindre affleurement d'éléments grossiers ; alternance de microhorizons sableux et pelliculaires fins (étude micromorphologique).

#### DONNEES ANALYTIQUES

##### Granulométrie

Prélév.	Profond.	Hor.	E.G.	A.	L.F.	L.G.	S.F.	S.G.
	cm		%	%	%	%	%	%
SKS 121	0 à 5	A 11	0,1	14,5	4,6	8,6	37,1	35,0
SKS 122	20 à 30	A 12 u, gr	75,6	12,3	4,6	6,5	25,5	51,2
SKS 123	50 à 60	A 2 u, gr	78,2	3,4	4,2	6,9	25,0	60,4
SKS 124	90 à 100	B 21 u, gr	25,5	31,6	2,6	5,0	13,4	46,9
SKS 125	130 à 140	B 22(u), v	8,4	26,5	5,3	5,7	17,2	45,2

##### Structure

Prélév.	D.A.	D.R.	P.T.	Agr.a.	Agr.e.	Agr.b.	I s	K
	g/cm <sup>3</sup>	g/cm <sup>3</sup>	%	%	%	%		cm/h
SKS 121	1,29	2,62	50,8	54,8	49,3	45,1	1,05	46,2
SKS 122	1,81	2,66	31,9	66,4	60,4	59,1	1,06	46,7
SKS 123	1,63	2,70	39,6					
SKS 124	1,34	2,72	50,5					
SKS 125	1,50	2,70	44,4					

## Relations sol-eau

Prélèv.	Humidité à $\neq$ potentiels matriciels				Humidité à $\neq$ limites mécaniques			
	pF 4,2	pF 3,0	pF 2,8	pF 2,5	liquid.	plast.	retrait	adhés.
SKS 121	7,9	9,1		10,2				
SKS 122	10,0	10,5		11,6				
SKS 124	14,6	17,3		18,5				

## Complexe absorbant

Prélèv.	M.O.	C/N	Ca <sup>++</sup>	Bases échangeables		Na <sup>+</sup>	S	T	S/T	pH eau
	%			Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>		mé/100g		%	
SKS 121	1,72	11,3	2,46	1,84	0,20	0,02	4,52	5,15	87,8	6,4
SKS 122	1,33	10,6	1,80	1,00	0,09	0,02	2,41	4,30	56,0	6,1
SKS 123	1,12	9,6	0,96	1,14	0,16	0,02	2,26	4,34	52,1	6,1
SKS 124			0,50	0,82	0,16	0,02	1,59	5,55	27,0	6,0
SKS 125			0,96	1,38	0,12	0,02	2,48	4,79	51,8	5,9

## Attaque triacide sur la fraction 0 à 2mm

Prélèv.	Rés.q.	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	MnO <sub>2</sub>	P. feu	Rapp. mol. SiO <sub>2</sub> /Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
SKS 124	37,60	25,20	18,30	8,90	0,64	0,04	0,04	0,10	0,01	0,01	8,25	2,34

## PROFIL : SAKASSOU 3

**LOCALISATION** : Centre de la Côte d'Ivoire, Région du "V" baoulé, Bassin versant de Sakassou (étude hydrologique ORSTOM), 06°34' N - 04°50' W, Site installé sur un versant de 400 m surmontant un cours d'eau d'ordre 1 (limite des bassins versants Est et Ouest), 1/3 inférieur du versant, pente localement de 4,5 %.

**DATE** : février 1976

**CLIMAT** : guinéen mésophile, pluviométrie moyenne de 1213 mm sur Diabokro (1922 à 1975).

**MATERIAU ORIGINEL** : granite migmatitique (Granites baoulé)

**CLASSIFICATION** : Sol hydromorphe (Class.), minéral (S/Class.), à pseudogley (Gr.), à nappe perchée (S/Gr.), sur granite migmatitique (Fam.), à lessivage ou suffosion de la matrice argileuse (Sér.).

**DESCRIPTION DU PROFIL TYPE :**

- de 0 à 3 cm -

Cf. "Description des organisations superficielles"

- de 3 à 5 ou 8 cm : horizon A 11 -

Frais, 10 YR 4/1 (gris foncé), sans taches ; sans éléments grossiers ; structure particulière associée à fragmentaire peu nette grumeleuse fine ; très poreux interstitiel ; meuble à bouillant ; très friable ; nombreux sables blancs dans la masse de l'horizon ; nombreuses racines fines, chevelu très dense ; transition nette et ondulée de couleur, enracinement et structure.

- de 5 ou 8 à 20 ou 25 cm ; horizon A 12 (g)

Sec, 10 YR 5,5/2 (brun jaunâtre), sans taches ; sans éléments grossiers ; sableux grossier ; structure massive ; poreux très fin et fin tubulaire, peu poreux moyen vésiculaire avec revêtements organiques très sombres, peu poreux moyen à large tubulaire également avec les mêmes revêtements et parfois remplissage de sables blancs déliés ; cohérent ; fragile ; racines fines, chevelu gainé de couleur rouille ; transition distincte et ondulée de couleur.

- de 20 ou 25 à 50 ou 54 cm ; horizon A 21 (g)

Sec, 10 YR 6/2 (gris brunâtre clair), quelques taches 10 YR 6/5 (jaune brunâtre), peu étendues, en trainées orthogonales associées aux racines fines, contrastées, limites peu nettes, quelques autres taches 10 YR 7/2 (gris clair), peu étendues, sans relations avec les caractéristiques pédologiques, arrondies (diamètre de 1,0 à 1,5 cm), limites nettes souvent soulignées par une nuance plus sombre, sans éléments grossiers ; sableux grossier ; structure massive ; très poreux très fin et fin tubulaire, peu poreux moyen tubulaire avec revêtements organiques sombres, peu poreux moyen tubulaire avec remplissage de sables blancs déliés ; quelques racines fines, transition distincte et ondulée de couleur et de texture.

- de 50 ou 54 à 70 cm ; horizon A 22 g -

Humide (pluie simulée), 10 YR 6/4 (brun jaunâtre clair), trois sortes de taches ; en haut nombreuses taches 10 YR 5/2 (brun grisâtre), étendues, irrégulières, limites peu nettes, de 1,5 à 2,0 cm d'extension, liées à la matière organique, entourées assez souvent d'un discret liseré rouille légèrement plus cohérentes, en limite inférieure ; taches 5 YR 5/8 (rouges), peu étendues, à limites nettes, en trainées et en ponctuations liées aux tubes dont elles engainent les parois, sur l'ensemble de cet horizon ; quelques autres taches peu étendues, circulaires correspondant à des accumulations de sables blancs dans les plus grosses porosités ; sans éléments grossiers ; sableux grossier ; structure massive ; très poreux tubulaire fin et moyen ; meuble ; non plastique et non collant ; plus forte cohésion au niveau des taches rouillées mais sans induration ; pas de racines ; transition distincte et régulière.

- de 70 à 125 cm ; horizon A 23 (g) -

Très humide (pluie simulée), 5 YR 7/2 (gris rosâtre), quelques taches légèrement plus sombres, irrégulières, plus contrastées, à limites peu nettes, liées à la matière organique, aucune autre tache ; sans éléments grossiers ; sableux grossier ; structure particulière ; très poreux interstitiel et très poreux tubulaire très fin et fin ; bouillant ; non plastique et non collant ; transition distincte et ondulée.

- de 125 à 155 cm ; horizon g -

Humide (pluies simulées), 10 YR 7/2 (gris clair), nombreuses taches 10 YR 7/6 (jaunes), étendues, 5 à 10 cm de diamètre, irrégulières, contrastées, à limites nettes ; sans éléments grossiers ; texture hétérogène par juxtaposition de zones sableuses grossières et de zones plus argileuses ; structure massive ; poreux tubulaire moyen et large et plus rarement vésiculaire ; épais argilanes blanchâtres sur la totalité des pores ; cohérent ; non plastique, non collant ; transition distincte et ondulée.

- de 155 à 170 cm ; horizon C g -

Humide, cailloux et blocs de granite altéré en milieu hydromorphe ; fissures remplies de matériau meuble constitué d'arène sablo-graveleuse blanche contenant des feldspaths altérés (aspect crayeux), des quartz, des lames d'argile blanc verdâtre.

Résumé : Profil très différencié caractéristique des bas de versant sableux de cette région ; la simulation de pluie, réalisée sur un site immédiatement en amont du profil décrit, a permis de repérer une partie de l'hydrodynamique interne de ce sol ; le drainage oblique intéresse les horizons A 22, A 23, g (imitation de ce qui se produit en saison intermédiaire), en pleine saison des pluies une nappe de bas-fond remonte au travers du C et des autres horizons sus-jacents, les battements de cette nappe sont à l'origine des figurés de l'horizon A 22 g avec deux types d'accumulation ; composés organiques en haut et composés ferriques en bas, cependant ces accumulations ne sont pas assez accentuées pour devoir signaler une "pseudo-podzolisation de nappe" ; on note enfin des accumulations argileuses nettes à partir de 125 cm et ce

jusqu'à la base du profil ; on peut supposer une rupture du lien capillaire s'opposant à des alimentations hydriques à partir de la nappe au moins dans les horizons A 11 et A 12.

#### DESCRIPTION DES ORGANISATIONS SUPERFICIELLES :

Les brûlis de saison sèche parcourent également le site étudié, ils ne s'arrêtent qu'au niveau de la strate basse hygrophile et de la forêt galerie bordant le cours d'eau ; il subsiste sur ce site, tous les 20 cm, des touffes calcinées de Graminées d'où repartent cependant des recrûs verts (premières pluies naturelles depuis quelques semaines) car le système racinaire reste vivant et le tallage est toujours possible (contrairement à ce qui se passe en zone sahélienne où les recrûs partent surtout de germinations).

#### DONNEES ANALYTIQUES

##### Granulométrie

Prélèv.	Profond.	Hor.	E.G.	A.	L.F.	L.G.	S.F.	S.G.
	cm		%	%	%	%	%	%
SKS 111	0 à 5	A 11	0,1	3,7	2,9	5,8	36,6	50,9
SKS 112	10 à 20	A 12 (g)	0,1	3,7	2,6	6,1	38,1	49,2
SKS 113	35 à 45	A 21 (g)	0,1	2,9	2,4	6,4	37,7	50,3
SKS 114	60 à 65	A 22 g	0,3	0,8	2,1	6,6	39,1	51,5
SKS 115	85 à 95	A 23 (g)	0,4	0,5	2,9	6,9	39,5	50,1
SKS 116	135 à 145	g	1,4	9,0	6,5	7,2	29,5	47,2
SKS 117	160	C g	24,6	14,2	6,1	6,6	22,5	50,5

##### Structure

Prélèv.	D.A.	D.R.	P.T.	Agr.a.	Agr.e.	Agr.b.	I s	K
	g/cm <sup>3</sup>	g/cm <sup>3</sup>	%	%	%	%		cm/h
SKS 111				53,0	53,3	57,1	0,76	14,6
SKS 112	1,48	2,63	43,7	52,1	54,5	56,1	0,63	17,5
SKS 113	1,50	2,63	43,0					
SKS 116	1,67	2,63	48,0					

##### Relations sol-eau

Prélèv.	Humidité à # potentiels matriciels				Humidité à # limites mécaniques			
	pF 4,2	pF 3,0	pF 2,8	pF 2,5	liquid.	plast.	retrait	adhés.
	%				%			
SKS 111	4,3	4,8		5,5				
SKS 112	3,3	3,4		4,3				
SKS 114	1,1	1,5		1,8				
SKS 115	2,1	2,6						
SKS 116	1,9	4,3		6,0				

##### Complexe absorbant

Prélèv.	M.O.	C/N	Bases échangeables				S	T	S/T	pH eau
			Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>				
	%		mé/100g				mé/100g		%	
SKS 111	1,18	12,5	0,84	0,58	0,19	0,03	1,64	2,95	55,6	6,6
SKS 112	0,67	11,1	0,28	0,14	0,08	0,04	0,54	1,90	28,4	5,9
SKS 113			0,01	0,04	0,05	0,02	0,12	1,22	9,8	5,9
SKS 114			0,01	0,01	0,07	0,02	0,11	1,61	6,9	5,4
SKS 115			0,01	0,04	0,10	0,04	0,19	0,12	(sat.)	6,6
SKS 116			0,50	0,46	0,04	0,03	1,03	1,22	84,4	6,3
SKS 117			0,80	0,78	0,05	0,03	1,66	2,22	74,7	6,4

## Attaque triacide sur la fraction 0 à 2mm

Prélév.	Rés. q.	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	MnO <sub>2</sub>	P. feu	Rapp. mol. SiO <sub>2</sub> /Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
						%						
SKS 113	91,30	6,10	1,30	0,26	0,15	0,03	0,01	0,05	0,08	0,01	0,95	7,97
SKS 116	85,20	9,10	2,60	0,51	0,34	0,05	0,01	0,05	0,01	0,01	1,20	5,95

## PROFIL : SAKASSOU 4

**LOCALISATION** : Centre de la Côte d'Ivoire, Région du "V" baoulé, Bassin versant de Sakassou (étude hydrologique ORSTOM), 06°34' N - 04°50' W, Site installé à mi-versant d'un ensemlement entre deux sommets, partiellement cuirassés, délimitant la partie amont du bassin versant, localement pente de 2,8 à 3,8 %.

**DATE** : février 1976

**CLIMAT** : guinéen mésophile, pluviométrie moyenne de 1213 mm à Diabokro (1922 à 1975)

**MATERIAU ORIGINEL** : granite migmatitique (Granites baoulé).

**CLASSIFICATION** : Sol ferrallitique (Class.), moyennement désaturé (S/Class.), remanié (Gr.), appauvri (S/gr.), sur granite migmatitique (Fam.), à couverture meuble épaisse (Sér.).

**DESCRIPTION DU PROFIL TYPE :**

- de 0 à 2 ou 3 cm -

Cf. "Description des organisations superficielles"

- de 2 ou 3 à 10 cm ; horizon A 1 -

Sec, 10 YR 3/1 (gris très foncé), sans taches ; sans éléments grossiers ; sableux ; structure massive juxtaposée à fragmentaire peu nette grumeleuse moyenne à fine ; très poreux ; meuble ; peu fragile ; nombreuses racines fines, chevelu abondant ; transition graduelle et régulière.

- de 10 à 45 cm ; horizon A B -

Sec, 7,5 YR 3/2 (brun foncé), sans taches ; sans éléments grossiers ; sablo-argileux ; structure massive ; poreux ; meuble ; peu fragile ; quelques racines fines et moyennes ; transition graduelle et régulière.

- de 45 à 190 cm ; horizon B 2 -

Sec puis frais vers 100 cm, 5 YR 4/5 (rouge jaunâtre), sans taches ; sans éléments grossiers ; argilo-sableux ; structure massive juxtaposée à fragmentaire peu nette polyédrique très fine ; poreux tubulaire fin et vésiculaire fin ; cohérent ; peu friable ; quelques racines fines et moyennes.

**Résumé** : Profil caractéristique des ensemlements entre des sommets cuirassés ; homogène avec un léger appauvrissement en argile ; aucune trace d'hydromorphie, les premières taches n'apparaissent que vers 250 cm et annoncent un horizon d'argiles tachetées qui devient diagnostic vers 300 cm ; pas d'éléments grossiers ; sur ce type de sols et en cette position topographique la stone-line quartzeuse peut apparaître entre 200 cm et 250 cm.

**DESCRIPTION DES ORGANISATIONS SUPERFICIELLES :**

Les brûlis de saison sèche ont parcouru la zone du profil décrit, il subsiste, tous les 20 cm, des touffes calcinées de Graminées, au moment de la description ; discrets recrûs verts par tallage à partir des racines vivantes (quelques pluies les semaines précédentes) ; sables déliés sur la surface du

sol en épandages discontinus sur environ 1 cm d'épaisseur soulignant la hiérarchisation du ruissellement sur une pente déjà importante.

#### DONNEES ANALYTIQUES

##### Granulométrie

Prélèv.	Profond.	Hor.	E.G.	A.	L.F.	L.G.	S.F.	S.G.
	cm		%	%	%	%	%	%
SKS 211	0 à 5	A 1	0,1	7,9	2,9	6,1	40,3	40,7
SKS 212	70 à 90	B 2	0,1	34,2	2,6	5,2	25,5	26,4
SKS 213	170 à 180	B 2	0,1	32,6	4,2	6,9	27,4	24,7

##### Structure

Prélèv.	D.A.	D.R.	P.T.	Agr.a.	Agr.e.	Agr.b.	I s	K
	g/cm <sup>3</sup>	g/cm <sup>3</sup>	%	%	%	%		cm/h
0 à 10 cm	1,39	2,60	46,5					
30 cm	1,52	2,65	42,6					
50 cm	1,55	2,65	41,5					
80 cm	1,45	2,69	46,1					
110 cm	1,37	2,67	48,7					

##### Complexe absorbant

Prélèv.	M.O.	C/N	Bases échangeables				S	T	S/T	pH eau
	%		Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	me/100g	me/100g	%	
SKS 211	1,38	15,7	1,20	0,97	0,09	0,03	2,29	2,71	84,5	5,8
SKS 212			0,58	0,65	0,01	0,01	1,31	3,01	43,5	5,5
SKS 213			1,10	0,54	0,11	0,01	1,84	2,47	74,5	5,6

##### Attaque triacide sur la fraction 0 à 2mm

Prélèv.	Rés.q.	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	MnO <sub>2</sub>	P. feu	Rapp. mol.
												SiO <sub>2</sub> /Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
												%
SKS 212	59,10	16,60	12,20	3,18	2,76	1,64	1,15	1,24	0,59	0,03	6,40	2,31
SKS 213	59,60	16,00	12,20	3,34	3,08	1,94	0,85	1,16	0,46	0,02	6,20	2,20

#### PROFIL : TAÏ 1

**LOCALISATION** : Sud-ouest de la Côte d'Ivoire, Région de Taï, Bassin versant de l'Audrénisrou, Station écologique du "MAB Côte d'Ivoire", 05°20' N - 07°21' W, 70 m sous un sommet étroit plan et partiellement cuirassé, 1/4 supérieur d'un versant convexo-concave de 500 m dont 75 m de flat plat et marécageux, localement pente de 25 %.

**DATE** : janvier 1978.

**CLIMAT** : guinéen ombrophile, pluviométrie moyenne de 1895 mm sur Taï (13 ans).

**MATERIAU ORIGINEL** : granite migmatitique (fréquentes intercalations de panneaux de schistes pélitiques ou quartzitiques)

**CLASSIFICATION :** Sol ferrallitique (Class.), fortement désaturé (S/Class.), remanié (Gr.), modal (S/Gr.), sur granite migmatitique (Fam.)

**DESCRIPTION DU PROFIL TYPE :**

- de +20 à 0 et de 0 à -1,0 ou -3,0 cm -

Cf. "Description des organisations superficielles"

- de 1,0 ou 3,0 à 6 cm ; horizon A 1 gr -

Frais, 5 YR 3/4 (brun rougeâtre foncé), sans taches ; graviers très abondants qui sont des gravillons ferrugineux de 0,5 à 1,0 cm de  $\phi$ , irrégulièrement arrondis, très indurés, rouge sombre en coupe ; argilo-sableux à sables fins dominants ; structure fragmentaire peu nette grumeleuse très fine ; très poreux interstitiel ; sables déliés blanchis en limite supérieure de cette horizon et sous les épandages gravillonnaires de la surface ; racines moyennes et fines très abondantes, chevelu dense à orientation horizontale ; nombreuses galeries de termites sur l'ensemble de l'horizon ; transition nette et régulière de couleur et de nature d'enracinement.

- de 6 à 30 ou 35 cm ; horizon A B gr -

Frais, 5 YR 4/6 (rouge jaunâtre), sans taches ; graviers très abondants qui sont des gravillons ferrugineux moins bien classés que précédemment ( $\phi$  de 0,3 à 2,5 mm), rares cailloux de débris de cuirasse ; argilo-sableux à sables fins dominants ; structure fragmentaire peu nette grumeleuse fine et polyédrique très fine ; poreux interstitiel et tubulaire fin à moyen ; racines fines et moyennes, chevelu abondant dans la masse de l'horizon ; transition distincte légèrement ondulée de couleur, structure et enracinement.

- de 30 ou 35 cm à 70 cm ; horizon B 1 gr -

Frais, 3,75 YR 4/6 (rouge), sans taches ; graviers très abondants qui sont des gravillons ferrugineux de mêmes caractéristiques que ceux de l'horizon sus-jacent, rares cailloux et graviers de quartz ferruginisés ; argileux ; structure fragmentaire peu nette polyédrique très fine et fine ; très poreux interstitiel et très poreux fin tubulaire ; quelques racines fines, chevelu peu abondant, rares grosses racines verticales (pivots de la strate arborée jeune) ; galeries de termites ; transition diffuse et régulière de structure, couleur et modification de la charge en éléments grossiers.

- de 70 à 130 cm ; horizon B 21 gr -

Frais, 2,5 YR 4/8 (rouge), sans taches ; graviers encore abondants jusqu'à 100 cm, taux diminuant ensuite rapidement, il s'agit toujours de gravillons ferrugineux, quelques graviers et cailloux de quartz plus ou moins alignés (reliquat de filon) ; argileux ; structure fragmentaire nette polyédrique très fine associée à grumeleuse à grenue très fine ; très poreux très fin tubulaire ; très peu de racines ; transition graduelle et légèrement ondulée de couleur, texture et structure.

- de 130 à 180 cm ; horizon B 22 (v) -

Frais, 2,5 YR 4/7 (rouge), quelques taches plus jaunes (vers 7,5 YR 5/6) et quelques taches violettes liées à des fragments d'altérites ; très peu de graviers de quartz, plus de gravillons ferrugineux ; argilo-sableux à sables grossiers dominants ; structure fragmentaire peu nette polyédrique fine, quelques agrégats argileux nettement plus cohérents que l'ensemble ; poreux très fin et fin tubulaire et moyen vésiculaire, pores enduits d'argilanes minces.

**Résumé :** Profil très caractéristique des proximités de sommet sous forêt ombrophile sempervirente du sud-ouest ivoirien sur granite ; accumulation de 100 à 150 cm de gravillons ferrugineux ; forte exploitation racinaire dense sur 15 à 20 cm puis décroissant rapidement jusqu'à 50 ou 60 cm ; forte porosité interstitielle dans la zone gravillonnaire, relais de porosité assuré ensuite par les vides interagrégats et les tubes ; altérations généralement en place vers 250 à 300 cm ; forte activité de la faune ; à partir de ce profil-type on peut observer quelques variations ; accentuation de l'appauvrissement argileux dans les horizons humifères, augmentation de la cohésion et, de façon concomitante, diminution de la porosité

vers -10 cm (horizon de comportement, peut-être "marque" d'anciennes mise en culture ?), texture passant d'argileuse dans le B 2 à argilo-sableuse en fonction de l'hétérogénéité de la roche-mère, remontée des taches dans le profil.

#### DESCRIPTION DES ORGANISATIONS SUPERFICIELLES :

Profil observé sous forêt et servant donc de témoin avant le défrichement et la mise en culture ; la dernière strate végétale vivante avant la surface du sol est herbacée (surtout Graminées et Rubiacées ainsi que des jeunes pousses ligneuses), elle couvre 40 % de la surface entre + 20 et + 10 cm ; ensuite de +10 à +5 cm on arrive dans la strate des racines rampantes et des débris de troncs morts ; de +5 à +1cm strate très peu dense de débris plus fins foliacés et ligneux et quelques fragments de cuirasses posés sur le sol ; de +1 à 0 cm, épandage gravillonnaire mal classé, continu et rares cailloux de quartz, ensemble parcouru par le système racinaire fin à chevelu dense ; on ne trouve pas, pendant la petite saison sèche, de fortes accumulations de litière et surtout pas de débris organiques non identifiables humifiés ; sur cette portion de versant pas ou peu de micromodèles (ce qui sera le cas en bas de versant), les seules irrégularités de la surface sont parfois de grandes excavations correspondant à la mort et à la chute des gros arbres ce qui constitue, avec le temps, un facteur important du remaniement des horizons supérieurs des sols.

#### DONNEES ANALYTIQUES

##### Granulométrie

Prélév.	Profond.	Hor.	E.G.	A.	L.F.	L.G.	S.F.	S.G.
	cm		%	%	%	%	%	%
TAi 311	1 à 6	A 1 gr	81,3	39,8	7,2	7,3	28,2	16,3
TAi 312	15 à 25	A 8 gr	70,6	40,0	4,1	2,6	29,1	23,1
TAi 313	40 à 50	B 1 gr	77,4	57,3	4,8	2,2	14,2	21,4
TAi 314	100 à 110	B 21 gr	69,0	60,2	7,7	2,4	8,2	21,1
TAi 315	165 à 175	B 22 (v)	2,2	30,7	37,1	6,7	10,9	14,6

##### Relations sol-eau

Prélév.	Humidité à $\phi$ potentiels matriciels				Humidité à $\phi$ limites mécaniques			
	pF 4,2	pF 3,0	pF 2,8	pF 2,5	liquid.	plast.	retrait	adhés.
	%				%			
TAi 311	14,9	16,5	17,3	18,4	31,7	26,4	26,2	29,9
TAi 312	16,6	18,6	18,8	20,7	33,3	27,2	22,3	30,2
TAi 313	22,2	25,9	26,0	27,6	48,3	35,7	25,5	44,5
TAi 314	24,1	28,2	28,8	30,8				

##### Complexe absorbant

Prélév.	M.O.	C/N	Bases échangeables				S	T	S/T	pH eau
	%		Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>				
			mé/100g				mé/100g		%	
TAi 311	5,7	13,3	2,19	1,93	0,07	0,01	4,20	9,39	44,7	4,7
TAi 312	1,9	12,8	0,01	0,27	0,01	0,01	0,30	5,96	5,0	4,8
TAi 313	1,4	15,9	0,01	0,13	0,01	0,01	0,16	5,82	2,7	4,8
TAi 314	0,9	14,4	0,01	0,09	0,01	0,01	0,12	2,53	4,7	5,0

##### Attaque triacide sur la fraction 0 à 2mm

Prélév.	Rés.q.	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	MnO <sub>2</sub>	P, feu	Rapp. mol.
		%										
TAi 313	28,90	22,00	20,17	15,85	0,85	0,03	0,04	0,05	0,02	0,01	12,30	1,85
TAi 315	22,70	26,90	25,16	11,25	1,03	0,06	0,03	0,04	0,02	0,01	12,80	1,43



### PROFIL : TAÏ 3

**LOCALISATION** : Sud-ouest de la Côte d'Ivoire, Région de Taï, Bassin versant de l'Audrénisrou, Station écologique du programme "MAB" de Côte d'Ivoire, 05°20' N - 07°21' W, bas de versant convexe-concave de 500 m dont 75 m de flat plat et marécageux, localement pente de 7 à 8 %.

**DATE** : janvier 1978.

**CLIMAT** : guinéen ombrophile, pluviométrie de 1885 mm à Taï (13 ans).

**MATERIAU ORIGINEL** : granite migmatitique (fréquentes intercalations de panneaux de schistes pélitiques et de quartzites).

**CLASSIFICATION** : Sol ferrallitique (Class.), fortement désaturé (S/Class.), appauvri (Gr.), induré (S/Gr.), sur granite migmatitique (Fam.).

#### DESCRIPTION DU PROFIL TYPE :

- de +20 à 0 et de 0 à -0,5 ou -3 cm -

Cf. "Description des organisations superficielles"

- de 0,5 ou 3 à 8 ou 12 cm ; horizon A 11 -

Sec, 10 YR 5/3 (brun), sans taches ; sans éléments grossiers ; sablo-argileux à sables fins dominants ; structure particulière juxtaposée à une structure fragmentaire peu nette polyédrique sub-anguleuse fine à grossière ; très poreux interstitiel ; meuble ; fragile ; sables déliés blancs en surface et en amas irréguliers dans la masse de cet horizon ; nombreuses racines fines, chevelu abondant orienté horizontalement ; transition nette et ondulée de couleur et structure.

- de 8 ou 12 à 40 cm ; horizon A B -

Sec, 10 YR 5/6 (brun jaunâtre), quelques taches plus sombres dues à une incorporation hétérogène des composés organiques, liées aux fissures verticales ; sans éléments grossiers ; sablo-argileux à sables fins dominants ; structure massive ; poreux fin et très fin tubulaire, quelques fissures verticales ; nette augmentation de la cohésion vers -10 ou -15 cm (sous-horizon de comportement ?), le reste de l'horizon devenant plus meuble ; peu fragile ; racines fines, chevelu de moins en moins abondant, limite d'enracinement moyennement dense vers 30 cm ; quelques loges sphériques de termites hypogées ; quelques traces de charbon de bois ; transition graduelle et régulière de couleur.

- de 40 à 65 ou 70 cm ; horizon B 1 (g) -

Sec, 10 YR 5/6 (brun jaunâtre), taches 6,25 YR 5/8 (rouge jaunâtre), autres taches 10 YR 5/4 (brunes), irrégulières, Ø de 0,3 à 0,5 cm, contrastées ; sablo-argileux ; structure massive juxtaposée à une structure fragmentaire peu nette polyédrique fine et moyenne ; cohérent ; peu fragile ; peu poreux très fin et fin tubulaire ; quelques racines fines ; transition distincte et légèrement ondulée de couleur et texture.

- de 65 ou 70 à 115 ou 125 cm ; horizon B 21

Sec 10 YR 6/6 (jaune brunâtre) en haut passant progressivement à 10 YR 7/6 (jaune) vers la base de cet horizon, taches 10 YR 6/4 (brun jaunâtre clair), soulignées par un liseré 5 YR 6/6 (jaune rougeâtre, plus cohérent surtout vers la base, augmentation des diamètres de taches vers la base ; quelques gravillons ferrugineux en amas irréguliers, de 5 à 15 cm de Ø vers la base ; argilo-sableux à sables fins dominants ; structure massive juxtaposée à une structure fragmentaire peu nette de dimension assez variable ; cohérent ; non fragile ; peu poreux très fin tubulaire, quelques pores tubulaires très grossiers dus à l'activité de petits rongeurs ; peu de racines fines et moyennes, certaines d'entr'elles sont engainées de matériau plus grisâtre ; transition distincte et ondulée de cohésion, couleur et texture.

- de 115 ou 125 à 160 cm ; horizon B 22 v -

Frais, 10 YR 6/2,5 (gris brunâtre clair), taches nombreuses en réseau, contrastées, limites nettes, vers 2,5 YR 4/8 (rouges), plus cohérentes, parfois indurées ; quelques gravillons ferrugineux en amas localisés ; argilo-sableux à sables fins dominants ; structure massive ; cohérent ; non friable ; très rares racines fines ; transition distincte et régulière par généralisation de l'induration,,

- à partir de 175 cm ; carapace cr -

Frais, carapace par induration généralisée d'un matériau s'apparentant à l'horizon précédent, ensemble constituant un réseau rouge vif et gris, par endroit larges vacuoles emplies d'un matériau encore meuble jaune pâle.

Résumé ; Profil très caractéristique des parties aval d'interfluvies convexo-concave sur granite, sous forêt, dans le sud-ouest ivoirien ; assez forte différenciation basée sur un net appauvrissement en argile, des différences de cohésion près de la surface, une porosité générale assez faible du fait d'une texture colmatante et d'une structuration peu développée mais on note la présence de gros drains dus à l'activité de la mésofaune ; l'enracinement reste localisé sur les 20 ou 25 premiers centimètres ; hydromorphie actuelle, induration en carapace des horizons hydromorphes.

#### DESCRIPTION DES ORGANISATIONS SUPERFICIELLES ;

La surface du sol a été décrite avant et après le défrichement, des différences apparaissent en ce qui concerne le micromodelé et les structures pédologiques superficielles :

- le micromodelé subit d'importantes modifications, sous forêt existait un réseau de chenaux hiérarchisant le ruissellement (50 à 70 cm de large, 100 à 150 cm de période et 30 à 50 cm de période),... dès la première année de mise en culture selon les façons traditionnelles autochtones, on constate un aplanissement important de la surface ce qui implique que le ruissellement sera de plus en plus en nappe ; ceci est à relier au changement du couvert végétal modifiant la nature des obstacles que rencontre la lame d'eau ruisselante,

- les structures superficielles du sol ont tendance à se colmater par atténuation des traces d'activité de la faune du sol et principalement des vers de terre, on assiste à un lissage généralisé en pellicule de texture fine.

#### DONNEES ANALYTIQUES

##### Granulométrie

Prélèv.	Profond.	Hor.	E.G.	A.	L.F.	L.G.	S.F.	S.G.
	cm		%	%	%	%	%	%
TAI 301	0 à 6	A 11	0,7	21,9	4,6	6,6	43,7	23,1
TAI 302	10 à 18	A B	0,1	26,2	6,4	6,1	51,1	10,2
TAI 303	30 à 40	A B	0,2	27,3	5,2	6,9	37,2	23,3
TAI 304	60 à 70	B 1 g	2,9	35,3	5,0	10,0	31,4	18,1
TAI 305	100 à 110	B 21	6,7	41,0	6,6	9,8	24,4	18,1
TAI 306	150 à 160	B 22 v	22,4	26,4	5,5	3,4	24,2	40,4

## Structure

Prélèv.	D.A.	D.R.	P.T.	Agr.a.	Agr.e.	Agr.b.	I s	K
	g/cm <sup>3</sup>	g/cm <sup>3</sup>	%	%	%	%		cm/h
0 à 10 cm	1,40	2,40	41,7	43,2	35,3	40,8	0,8	5,6
25 cm	1,61	2,42	33,5	43,3	25,4	21,0	2,5	5,8
53 cm	1,61	2,41	33,2	54,7	30,0	20,1	1,9	4,2
79 cm	1,61	2,48	35,1					
108 cm	1,65	2,28	27,6					
130 cm	1,68	2,59	41,3					
163 cm	1,59	2,65	40,0					

## Relations sol-eau

Prélèv.	Humidité à $\phi$ potentiels matriciels				Humidité à $\phi$ limites mécaniques			
	pF 4,2	pF 3,0	pF 2,8	pF 2,5	liquid.	plast.	retrait	adhés.
	%				%			
TAI 301	10,5	13,5	14,1	16,4	24,9	19,1	19,3	22,5
TAI 302	10,5	14,2	14,8	18,0	24,5	19,4	18,7	22,4
TAI 303	11,5	15,0	15,7	18,6	25,4	19,1	15,7	22,1
TAI 304	14,8	17,4	18,2	19,2				
TAI 305	17,8	21,1	21,4	22,5				
TAI 306	18,5	23,0	24,0	27,2				

## Complexe absorbant

Prélèv.	M.O.	C/N	Bases échangeables				S	T	S/T	pH eau
			Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>				
	%		mé/100g				mé/100g		%	
TAI 301	2,4	12,1	0,17	0,52	0,04	0,01	0,79	5,42	14,6	4,1
TAI 302	1,2	12,7	0,03	0,22	0,01	0,01	0,27	3,86	6,9	4,5
TAI 303	1,0	12,3	0,01	0,15	0,01	0,01	0,18	3,67	4,9	4,2
TAI 304	0,9	12,4	0,01	0,13	0,01	0,01	0,16	3,83	4,2	4,3
TAI 305	0,8	13,6	0,09	0,27	0,01	0,01	0,38	3,75	10,1	4,5

## Attaque triacide sur la fraction 0 à 2mm

Prélèv.	Rés.q.	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	MnO <sub>2</sub>	P, feu	Rapp. mol.
												SiO <sub>2</sub> /Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
		%										
TAI 303	70,00	11,90	9,08	2,44	0,41	0,03	0,03	0,05	0,02	0,01	5,85	2,23
TAI 303	61,80	14,00	12,17	3,26	0,50	0,03	0,05	0,05	0,02	0,01	7,05	1,95



A N N E X E 4

Planches photographiques

# PLANCHE I DISPOSITIFS EXPERIMENTAUX

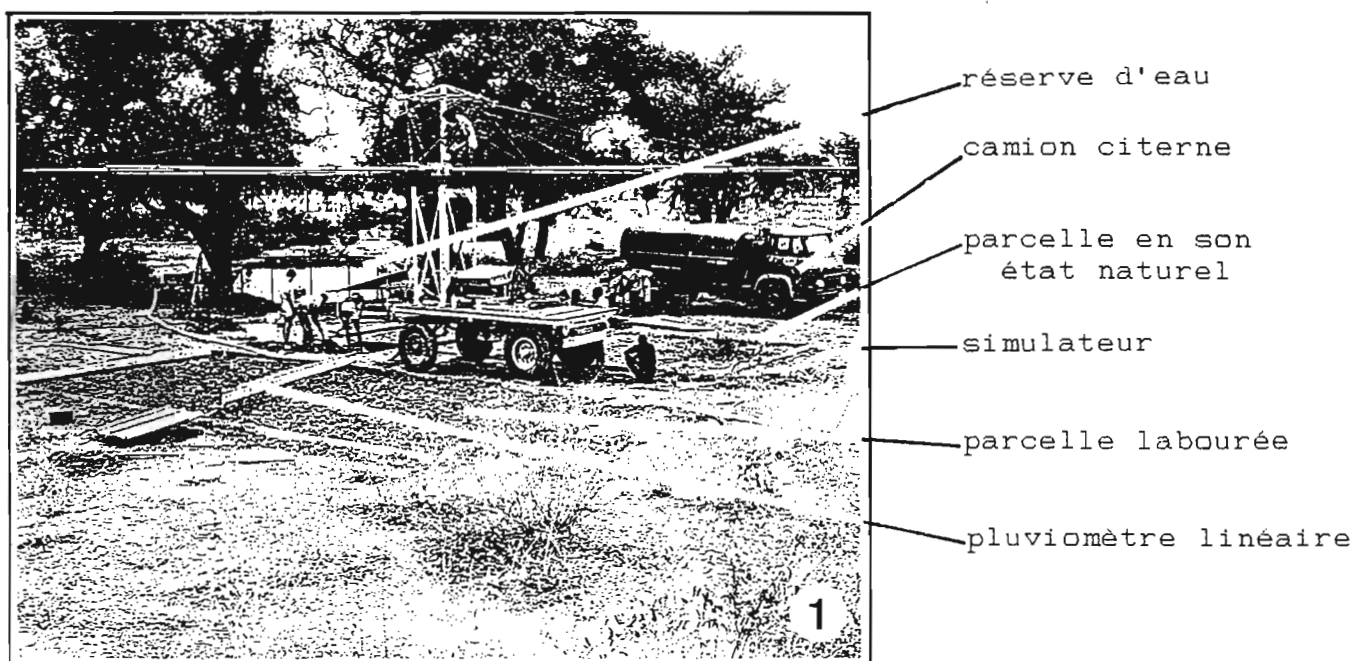


Photo n° 1: Simulateur de pluies installé sur un site expérimental

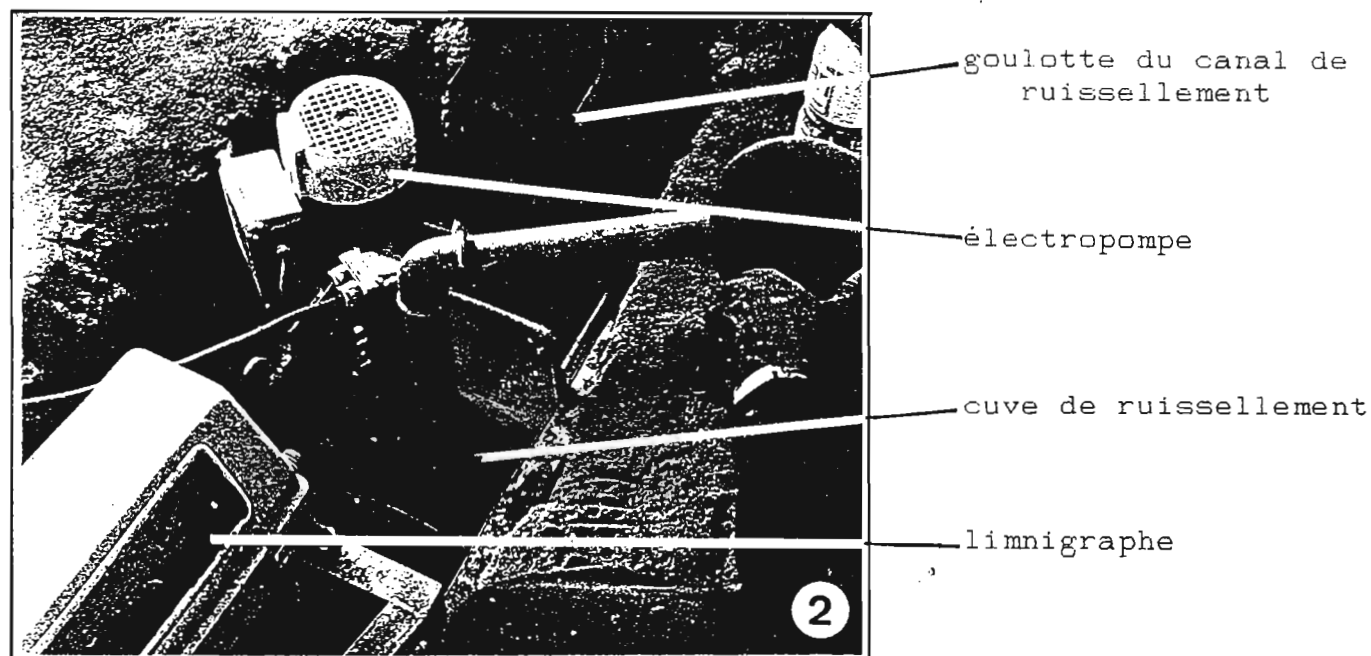


Photo n° 2: Dispositif de récupération et de mesure des eaux de ruissellement

# PLANCHE II PRINCIPAUX TYPES D'ASSEMBLAGES MICROMORPHOLOGIQUES

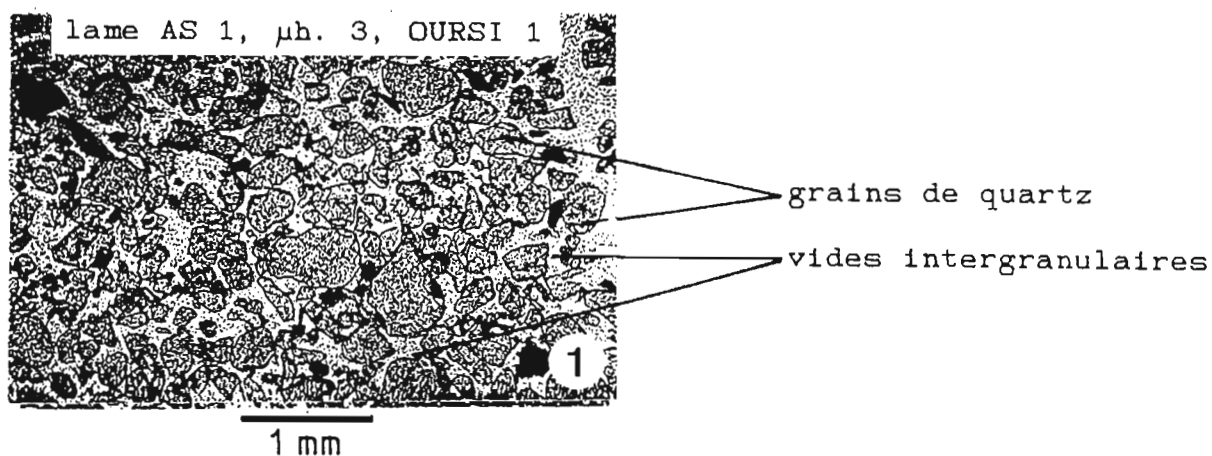


Photo. n° 1: assemblage granulaire

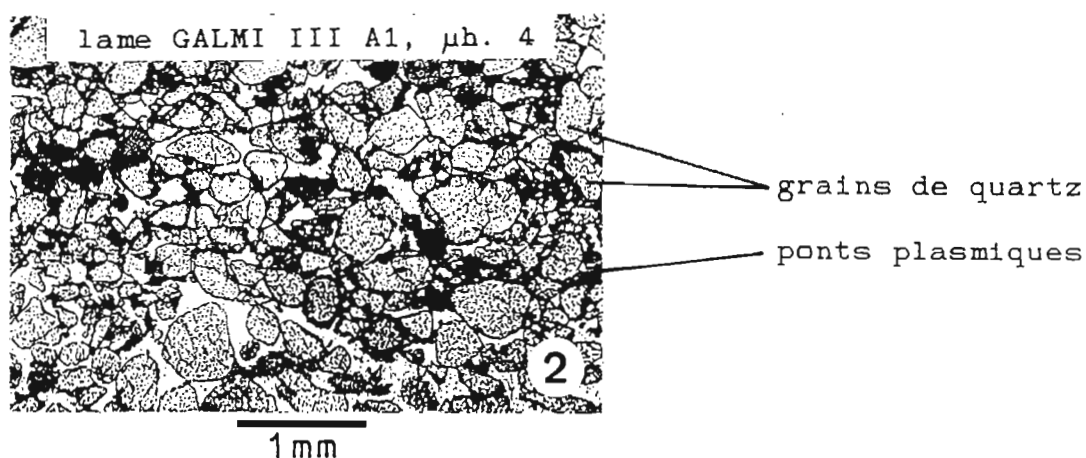


Photo. n° 2: assemblage intertextique

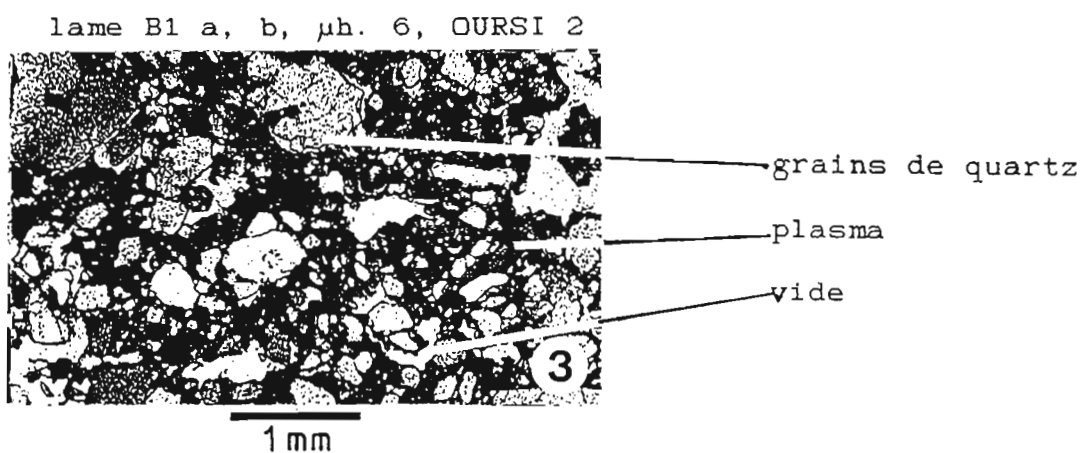
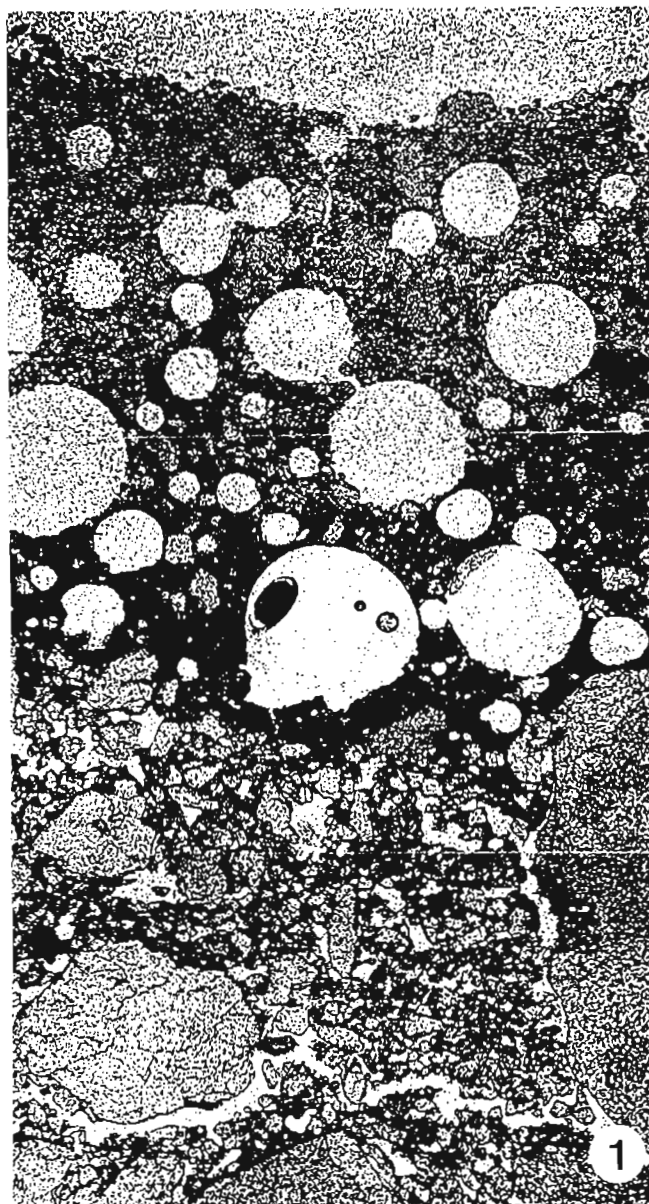


Photo. n° 3: assemblages aggloméroplasmique à  
porphyrosquélique

# PLANCHE III

## EXEMPLE DE CONCENTRATION PLASMIQUE LAMINAIRE PROFONDE



1er  $\mu$ h. :

1 sables fins et limons grossiers  
à assemblage granulaire

2ème  $\mu$ h. :

2 concentration plasmique continue,  
limite inférieure nette, nombreux  
vésicules.

3ème  $\mu$ h. :

3 sablo-argileux, grains mal classés,  
assemblage intertextuel, argilanes  
coiffant les grains grossiers

1 mm

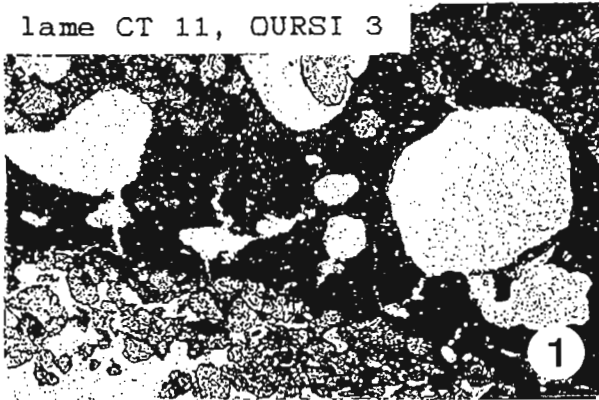
Photo 1 : lame CT 11, OURSI 3



# PLANCHE IV

## TYPES DE CONCENTRATIONS PLASMIQUES

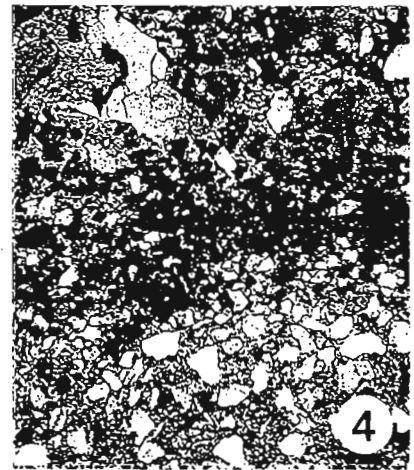
lame CT 11, OURSI 3



1mm

concentration plasmique laminaire  
profonde, argiles dispersables,  
lame plasmique étanche et stable.

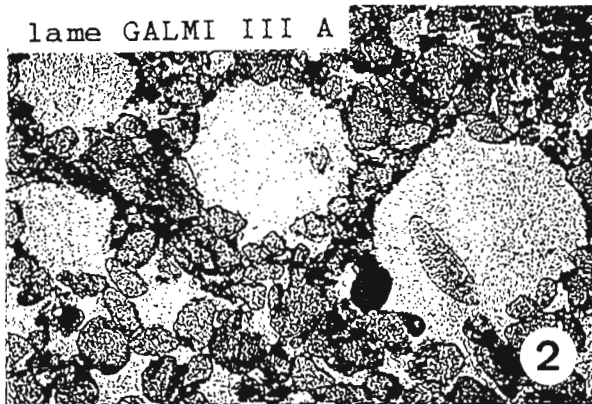
lame ME 112 g, SAKASSOU 2



1mm

concentration plasmique laminaire  
profonde, argiles pectisées en  
granules, lame plasmique peu  
étanche et instable

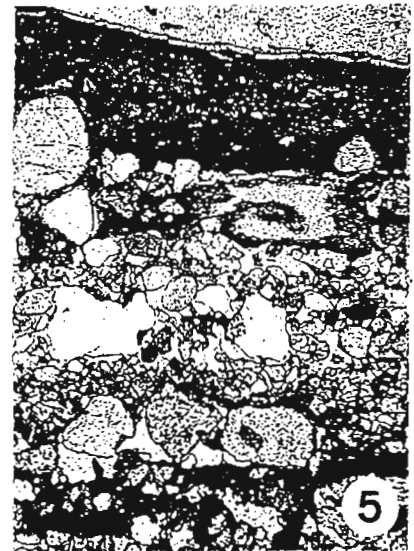
lame GALMI III A



1mm

vésicules de dégazage en assemblage  
intertextique

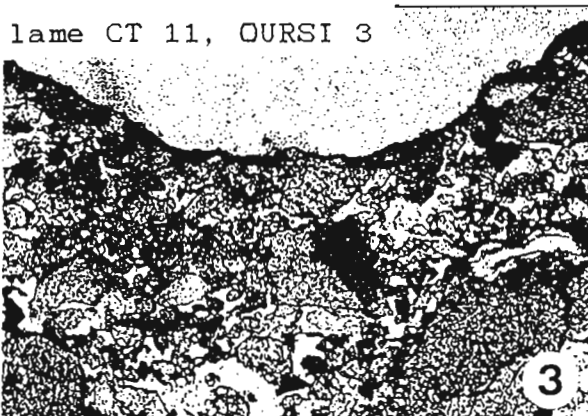
lame B 2 a, b, OURSI 2



1mm

concentration plasmique super-  
ficielle liée aux systèmes de  
décantation, (cf. 2 niveaux de  
concentration).

lame CT 11, OURSI 3



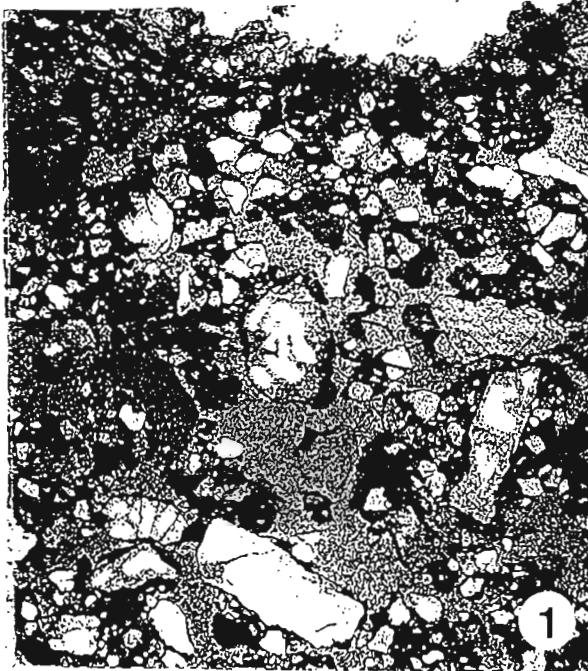
1mm

concentration plasmique épidermique  
de dessiccation, lame plasmique de  
faible étanchéité, remaniée à chaque  
averse (cf. microcratère d'impact)

# PLANCHE V

## REMANIEMENT DES MICRO-ORGANISATIONS SUPERFICIELLES SOUS L'EFFET DES CONTRAINTES PLUVIOMETRIQUES ET DU RUISSELLEMENT

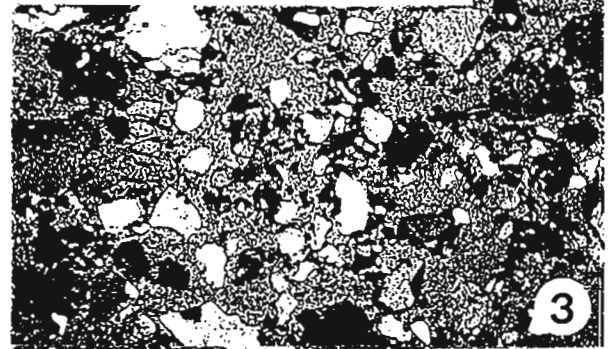
lame SKS 1, SAKASSOU 2



1 mm

état initial : matrice  
aggloméroplasmique taraudée  
par la faune du sol  
(0 à -5 mm)

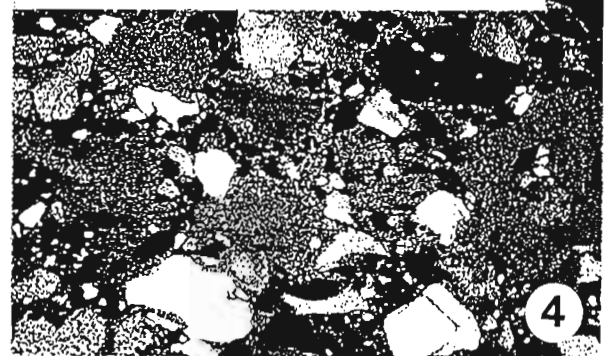
lame SKH 8, SAKASSOU 2



1 mm

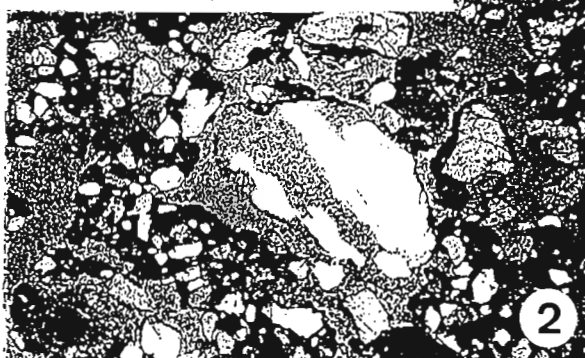
phase d'imbibition :  
dislocation et séparation  
du squelette et du plasma  
de granules pectisés  
( à - 10 mm)

lame SKS 212 b, SAKASSOU 2



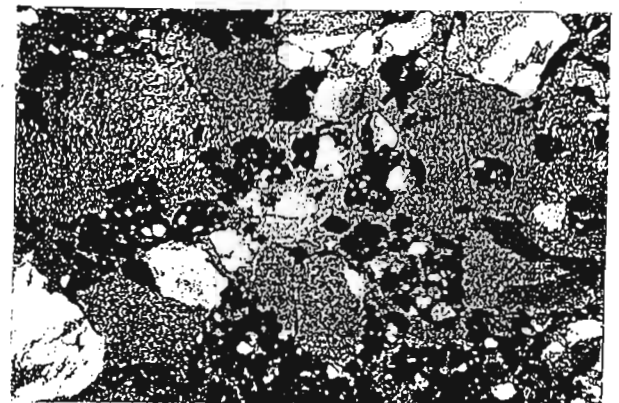
4

lame SKS 1, SAKASSOU 2



1 mm

état initial : matrice  
porphyrosquélifique taraudée  
par la faune du sol  
( à - 50 mm)



1 mm

régime permanent du  
ruissellement, dégazage contrarié,  
réticulation des éléments disloqués  
du fond matriciel, photo 4 : parois  
minces, photo 5 : parois épaisses